LE SCIENZE
edizione italiana di SCIENTIFIC AMERICAN

numero 104
aprile 1977
anno x
volume xviii

Cibo e agricoltura

La situazione alimentare mondiale non è disperata, a condizione che gli sforzi fatti a livello sia nazionale sia internazionale siano concentrati meno sull'industria e più sull'agricoltura

di Sterling Wortman

La situazione alimentare nel mondo è grave, per non dire precaria. È anche vero però che, per la prima volta nella storia, il mondo ha forse il potere di affrontare i problemi interagenti della produzione alimentare, della rapida crescita demografica e della povertà. Qual è allora la morale di questo numero di «Le Scienze» dedicato all'alimentazione e all'agricoltura?

Alcuni fatti sono irrefutabili. La popolazione mondiale era di due miliardi di unità nel 1930, è arrivata a tre miliardi nel 1960, oggi si aggira sui quattro miliardi e punta per la fine del secolo a raggiungere i sei miliardi. D'altro canto, pare che il tasso annuo di incremento stia toccando attualmente punte massime. Il tasso della produzione alimentare mondiale continua ad aumentare da un po' di tempo a questa parte a un ritmo analogo a quello della popolazione. La «rivoluzione verde» della fine degli anni sessanta ha rappresentato un miglioramento sostanziale in fatto di produttività delle colture di cereali, soprattutto in alcune parti dell'Asia e dell'America Latina; la Cina ora è in grado di dar da mangiare a tutta la sua immensa popolazione (si veda l'articolo dello stesso autore *L'agricoltura in Cina* in «Le Scienze», n. 86, ottobre 1975); l'India ha appena dato notizia di un abbondante raccolto di cereali. Eppure, un anno sì e l'altro no, una buona parte dell'umanità non riesce a nutrirsi e continua a cavarsela alla meno peggio solo intaccando le scorte eccedenti di alcuni paesi. Centinaia di milioni di persone in decine e decine di paesi vivono nella più nera miseria, afflitte da uno stato di malnutrizione cronica, che rafforza la loro miseria, e soggette a carestie disastrose quando le loro precarie disponibilità alimentari vengono ridotte dalla siccità, dalle inondazioni o dalle guerre (si veda l'articolo *Le dimensioni della fame umana* di Jean Mayer, a pagina 22).

Di fronte a questi fatti, vi sono studiosi seri che prevedono un imminente stato di inedia di proporzioni internazionali gigantesche. Alcuni, facendo rilevare che in molte parti del mondo si producono beni alimentari in quantità più che sufficiente, si fanno patrocinatori di una radicale ridistribuzione di tali beni dai paesi ricchi a quelli poveri. Altri propongono una soluzione diversa, che sarebbe quella di abbandonare a se stesse le popolazioni le cui prospettive di sopravvivenza siano praticamente nulle, interrompendo, nei loro confronti, ogni invio di alimenti e ogni assistenza tecnica ed economica, e mandando invece un aiuto selettivo a quei paesi a cui essi attribuiscono una ragionevole possibilità di sopravvivenza. D'altra parte, molti studiosi del problema sono più ottimisti e ritengono che le disponibilità alimentari andranno gradualmente aumentando a mano a mano che le conoscenze scientifiche e la tecnologia verranno applicate su larga scala per migliorare la produttività agricola, a mano a mano che i tassi di crescita demografica si ridurranno sotto l'influsso dell'istruzione di massa e della pianificazione familiare, e anche come implicito corollario dei progressi economici.

I dati e le informazioni raccolti in questo articolo giustificano, a mio parere, il secondo di questi due punti di vista di carattere generale cui ho accennato, ma a una condizione importante: il miglioramento si verificherà soltanto se sarà perseguito attivamente con un orientamento della politica radicalmente nuovo sia nelle nazioni ricche sia in quelle povere. È importante rendersi conto che i rapporti di interazione fra i problemi posti da una bassa produttività agricola, da elevati tassi di crescita demografica e dalla povertà presentano non solo diffi-

Imperial Valley, nella California centromeridionale, è il sito della più grande distesa singola di agricoltura irrigua dell'emisfero occidentale; il suo fondo quasi piatto accoglie quasi 250 000 ettari di terra estremamente redditizia, i cui prodotti più importanti sono l'orzo, l'erba medica, le barbabietole da zucchero, la segale, il cotone, gli ortaggi, e il bestiame. La parte principale della valle si estende dal Salton Sea a nord al confine messicano a sud. Qui in media cadono circa 75 millimetri di pioggia l'anno e la temperatura di solito supera i 38 gradi centigradi per più di 110 giorni all'anno. La valle riceve la maggior parte della propria acqua d'irrigazione dal fiume Colorado per mezzo dell'All-American Canal, lungo 130 chilometri (*linea scura in basso a destra*). Il Salton Sea si formò fra il 1905 e il 1907 quando le acque del fiume Colorado, deviate fortuitamente, si riversarono nella Salton Sink, una depressione arida e ricoperta di sale che a quel tempo si trovava circa 85 metri sotto il livello del mare. L'acqua di irrigazione e di scolo dell'Imperial Valley e della Coachella Valley (a nord-ovest) ha stabilizzato il lago salato contro l'evaporazione. Questa immagine composita a colori falsati, eseguita da un calcolatore digitale sulla base dei dati raccolti il 22 maggio 1975 da LANDSAT 1, il satellite artificiale per le risorse terrestri, è stata fornita dall'IBM Federal Systems Division; un ingrandimento di quest'area presso il confine fra gli Stati Uniti e il Messico appare sulla copertina di questo fascicolo.

coltà ma anche opportunità. Uno sforzo globale, volto ad accrescere la produzione di alimenti nei paesi poveri e afflitti da un deficit alimentare, potrebbe essere il mezzo migliore per aumentare il reddito e accumulare i capitali per lo sviluppo economico, spingendo in tal modo i paesi poveri, attraverso la transizione demografica, a raggiungere tassi moderati di crescita della popolazione.

Dal 1798, l'anno in cui Thomas Malthus pubblicò il suo *Saggio sul principio della popolazione*, non sono mancati gli ammonimenti sul fatto che gli esseri umani, il cui numero è soggetto ad aumentare secondo una progressione esponenziale, potrebbero - o a un certo momento lo farebbero certamente - superare la disponibilità dei mezzi di sussistenza, che Malthus presumeva potessero aumentare invece soltanto seguendo una progressione aritmetica. Nel corso degli anni si sono avute carestie localizzate e penurie alimentari di una più ampia portata geografica: vi sono state carenze di notevole entità agli inizi degli anni venti susseguentemente alla prima guerra mondiale, verso la fine degli anni quaranta e agli inizi degli anni cinquanta susseguentemente alla seconda guerra mondiale, alla metà degli anni sessanta, dopo due anni di siccità nel subcontinente indiano, e, più di recente, nel 1972, quando la produzione cerealicola mondiale ebbe una flessione di 35 milioni di tonnellate e l'URSS effettuò acquisti massicci sul mercato internazionale. Eppure soltanto da meno di quindici anni a questa parte si è cominciato a valutare in tutta la sua estensione la gravità e la cronicità del problema dell'alimentazione nel mondo.

Fu nel 1963 che Lester R. Brown, che a quel tempo lavorava presso il Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti, pubblicò un saggio, in cui presentava proiezioni fino all'anno 2000 dei mutamenti intervenuti nella produzione e nel commercio cerealicoli. Quelle proiezioni (non previsioni, bensì estrapolazioni delle tendenze allora attuali) facevano pensare che, anche se i paesi in via di sviluppo fossero riusciti entro il 2000 a triplicare la loro produzione cerealicola, le esportazioni dirette dai paesi sviluppati a quelli meno sviluppati si sarebbero dovute più che quadruplicare per soddisfare la domanda sempre crescente. In un suo studio del 1965 Brown rilevava che prima del 1940 le zone meno sviluppate dell'Asia, dell'Africa e dell'America Latina erano tutte esportatrici nette di frumento, riso, granoturco e altri cereali nei confronti delle nazioni più industrializzate. Alla fine della seconda guerra mondiale però i paesi meno sviluppati avevano perso le proprie eccedenze e il flusso subì un'inversione. Le esportazioni di cereali dal mondo sviluppato a quello meno sviluppato aumentarono da una media di quattro milioni di tonnellate l'anno nel 1948 a circa 25 milioni di tonnellate nel 1964. Brown concludeva: «Il mondo meno sviluppato sta perdendo la capacità di alimentare se stesso».

Da allora il flusso di cereali diretto da alcuni paesi sviluppati verso le regioni in via di sviluppo non ha fatto che crescere; in effetti pare che nell'annata agricola conclusasi di recente quasi tutte le esportazioni di cereali venissero dagli Stati Uniti, dal Canada e dall'Australia (*si veda l'illustrazione a pagina 19*).

Se la produzione cerealicola dovesse seguire la linea di tendenza degli ultimi quindici anni, l'International Food Policy Research Institute ritiene che il disavanzo di cereali d'uso alimentare dei paesi in via di sviluppo a economia di mercato si aggirerà, di qui al 1985-1986, intorno ai 100 milioni di tonnellate l'anno. Se invece il tasso di incremento della produzione sarà quello, alquanto più ridotto, degli ultimi sette anni, il disavanzo annuo potrebbe raggiungere la cifra sbalorditiva di 200 milioni di tonnellate.

Queste previsioni si riferiscono specificamente ai paesi poveri che non riescono a produrre alimenti in quantità sufficiente a nutrire tutta la popolazione. Vi sono paesi in via di sviluppo (Thailandia e Argentina) che esportano derrate alimentari e altri, come la Cina, che sono praticamente autosufficienti in fatto di alimentazione. E vi sono molti paesi sviluppati che hanno bisogno di importare beni alimentari e hanno il denaro per poterlo fare; non vi è nulla, in un deficit alimentare, che non si possa curare con la disponibilità di valuta estera. Il problema quindi è concentrato nei paesi in via di sviluppo afflitti da deficit alimentare. La complessità del compito di migliorare la situazione di questi paesi deriva dalle loro particolari caratteristiche.

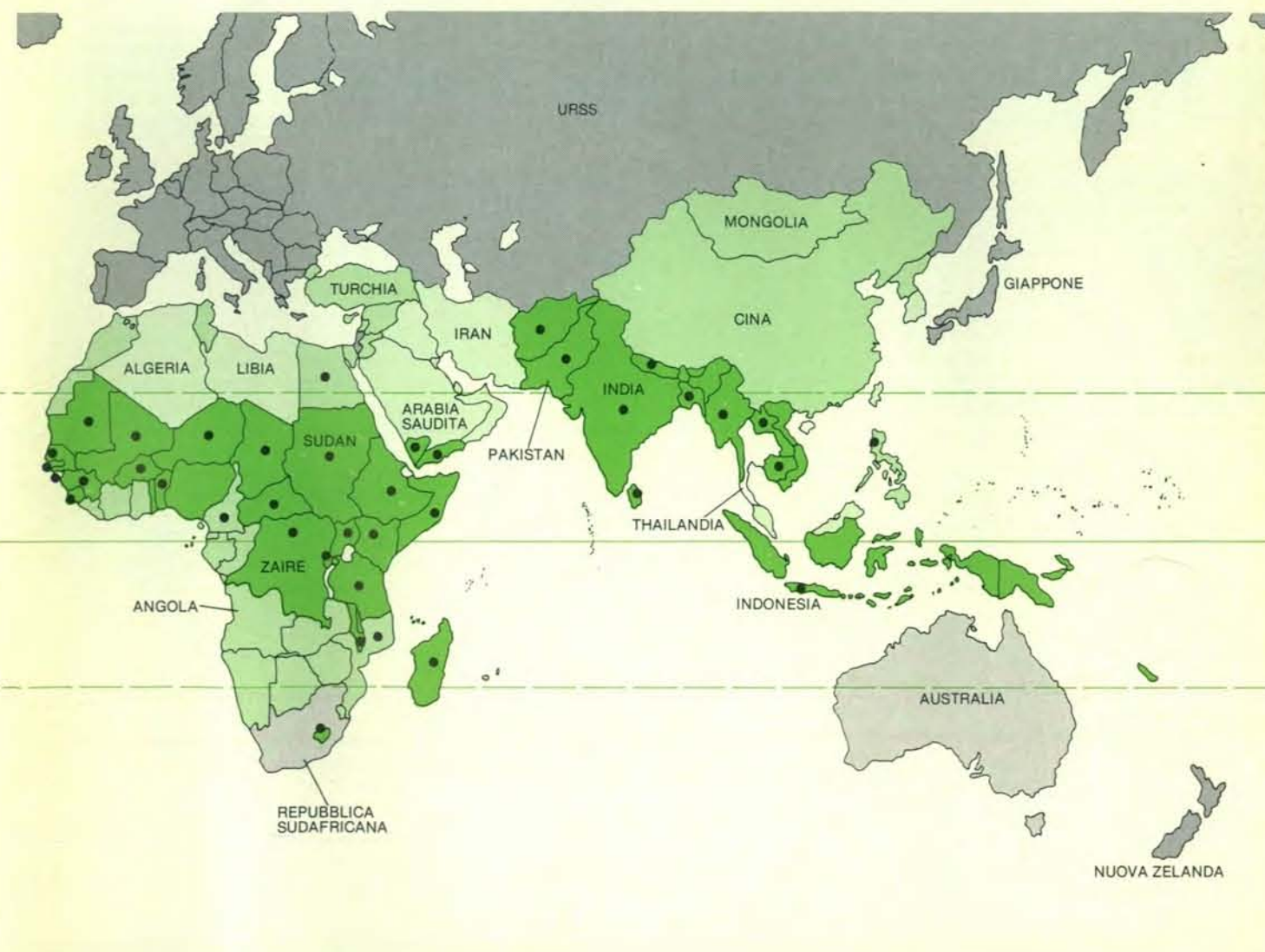
Mentre nel 1974 il prodotto nazionale lordo pro capite era di 6720 dollari in Svezia, 6640 negli USA, 2770 in Italia e 2300 nell'URSS, in circa 90 paesi il reddito pro capite era inferiore ai 500 dollari, e in una quarantina di questi paesi la cifra scendeva addirittura al di sotto dei 200 dollari. Queste sono medie statistiche: nella maggior parte dei paesi in via di sviluppo a economia di mercato vi sono enormi disparità in fatto di reddito e fra le masse della popolazione rurale i livelli di reddito sono di gran lunga al di sotto di qualsiasi media. Considerati nel loro complesso, questi paesi hanno riserve di valuta estera inadeguate; molti di essi dipendono dall'esportazione di una o al massimo di alcune materie prime; la loro bilancia commerciale generalmente è passiva e la loro situazione debitoria è molto grave.

I paesi in via di sviluppo sono prevalentemente agricoli, con il 50-80 per cento della popolazione distribuita nelle zone rurali, spesso lontane dai centri di governo. Nella maggior parte dei casi essi traggono i propri mezzi di sussistenza dalle colture che producono beni alimentari o fibre tessili, oppure dall'allevamento di animali adatti al tipo di terreno e alle condizioni climatiche locali. La produttività delle loro colture e dei loro allevamenti nella maggior parte dei casi è spaventosamente bassa. Il rapporto terreno coltivato e popolazione continua a ridursi; in più di un paese l'estensione pro capite di terra coltivata è pari a meno di un mezzo ettaro. Ancora qualche decina di anni fa era possibile aumentare la produzione alimentare mettendo a coltura altre terre o estendendo i terreni da pascolo, ma un'alternativa del genere va scomparendo in molte regioni. Per di più la terra è stata ripetutamente divisa fra molte generazioni di eredi e, di conseguenza, la maggior parte delle proprietà familiari è diventata estremamente piccola.

La popolazione rurale ha scarso accesso all'istruzione o all'assistenza sanitaria. Gli alloggi sono di un livello molto scadente. La speranza media di vita è bassa e le famiglie numerose sono sempre state per tradizione una fonte di manodopera e di sicurezza per i genitori negli anni della vecchiaia. Lontane spesso sia dagli occhi sia dal pensiero dei governi a base urbana, queste popolazioni rurali sono le più povere fra i poveri.

Un'altra condizione di svantaggio per molti di questi paesi è data dalle loro dimensioni ridotte: in quasi 80 di essi la popolazione è inferiore ai 5 milioni e, fra questi 80 paesi, più di 30 hanno meno di un milione di abitanti. Tali nazioni non possono aspettarsi di approntare da soli tutta la gamma di servizi scientifici e professionali indispensabili in certi campi importanti per lo sviluppo; essi debbono per forza ricorrere a risorse esterne. La mancanza di istituzioni e di personale specializzato nei paesi in via di sviluppo è esacerbata dal fatto che molti di essi hanno conquistato l'indipendenza solo da poco tempo. Di tutti i paesi che nelle classificazioni delle Nazioni Unite figurano tra i meno sviluppati o tra i «più gravemente colpiti» dalle recenti tensioni economiche, 36 sono indipendenti dal 1945 e 29 soltanto dal 1960. La partenza delle potenze coloniali ha lasciato molti di questi paesi privi delle conoscenze e delle capacità tecniche necessarie per migliorare la produzione alimentare, con istituzioni deboli, e in molti casi senza quegli sbocchi sicuri o quelle sicure fonti di approvvigionamento che esistevano quando i paesi in questione facevano parte di un sistema coloniale.

Inoltre, in quanto colonie, le loro colture alimentari di base e il loro patrimonio zootecnico erano sempre stati trascurati. Molti paesi in via di sviluppo hanno numerosi centri di ricerca sul caffè, sul

L'incidenza dei disavanzi alimentari e della povertà è concentrata nell'ampia fascia delle nazioni in via di sviluppo, come risulta da questa cartina basata sulle categorie stabilite dall'International Food Policy Research Institute (IFPRI). Alcuni paesi sviluppati sono i maggiori esportatori di beni alimentari; tutti gli altri hanno un disavanzo netto in questo campo, ma possono pagare le importazioni. Quasi tutti i paesi in via di sviluppo hanno un deficit alimentare. Le Nazioni Unite hanno identificato 43 paesi nei quali l'alimentazione rappresenta il problema principale (*dischetti neri*), il reddito è particolarmente basso, la dieta è inadeguata e vi sono prospettive di grandi deficit di cereali.

cacao, sulla palma da olio, sulla gomma, sulla iuta e su altre colture commerciali da esportazione, ma fino a qualche anno fa c'erano ben pochi centri dello stesso genere per il frumento, il riso, il granoturco, i legumi d'uso alimentare, le radici commestibili, gli ortaggi e le altre colture essenziali per nutrire gli abitanti delle città e delle campagne. Dopo l'indipendenza, governi e industrie hanno mostrato la tendenza a concentrare la propria attenzione, proprio come avveniva prima, sui complessi residenziali e sulle colture d'uso industriale, sulle cose cioè che fruttano valuta estera. Poca cura invece è stata dedicata al settore della ricerca e dell'istruzione e non ci si è preoccupati molto nemmeno di creare i sistemi di mercato che avevano caratterizzato gli sforzi, un tempo coronati da successo, nel campo delle colture destinate all'esportazione. In molti di questi paesi essenzialmente agricoli il potere è nelle mani di militari, avvocati, uomini d'affari, ingegneri o altra gente che ne sa ben poco di agricoltura o della scienza che ne costituisce il fondamento.

Attualmente una quantità sempre crescente di persone, soprattutto nelle campagne, sta cominciando ad agitarsi. Con il progredire delle comunicazioni di massa e dei trasporti, questa gente, a lungo negletta, sta prendendo coscienza del fatto che solo una piccola parte della popolazione gode di quelle cose che rendono più comoda la vita. Non nutrendo più nessuna speranza per sé o per i propri figli, questa gente è pronta ad accogliere qualsiasi ideologia che le offra ciò che a suo giudizio è particolarmente importante: mangiare, vestire, avere una casa, assistenza sanitaria, istruzione, sicurezza - e speranza.

Di conseguenza si sta cercando sempre di più di far capire ai capi di governo che, se non si fa qualche cosa per sviluppare le zone agricole del paese, c'è la possibilità di trovarsi di fronte a uno stato continuo di agitazione, di violenza e perfino di rivoluzione. Una nuova volontà politica di affrontare il problema dell'agricoltura si sta ora facendo strada a poco a poco. A creare questo senso di situazione di emergenza hanno contribuito le linee di tendenza delle disponibilità mondiali di beni alimentari. Con il calo delle riserve di frumento degli Stati Uniti e di alcuni altri paesi che hanno eccedenze di prodotti agricoli, la classe dirigente di molti paesi in via di sviluppo non può più contare su un accesso ininterrotto alle forniture a buon mercato (o addirittura gratuite) che le hanno permesso di mantenere bassi i prezzi degli alimenti nelle zone urbane, continuando a trascurare le zone agricole. Dato l'alto costo delle derrate alimentari sui mercati internazionali, che impone di intaccare profondamente le già scarse riserve di valuta estera, alcuni governi si vedono costretti ora per la prima volta, per ragioni politiche, a occuparsi delle proprie popolazioni rurali. Se riuscisse davvero a spingere i governi all'azione, la riduzione delle eccedenze potrebbe costituire, per una ironia della sorte, uno degli avvenimenti più favorevoli di questi ultimi tempi.

Per comprendere il tipo di azione che si richiede in questo caso, è opportuno considerare le varie fasi di sviluppo dei sistemi agricoli e le trasformazioni che si sono avute in questo secolo. Da migliaia di anni gli uomini praticano la tradizionale agricoltura di sussistenza. Dal tempo in cui i cacciatori e i raccoglitori diventarono coltivatori sedentari, c'è stata una lunga e lenta evoluzione di innumerevoli sistemi di produzione agricola e zootecnica, molti dei quali sono seguiti

Pare probabile che nel futuro immediato la produzione alimentare nel mondo segua il passo dell'aumento della popolazione. Nel grafico vediamo gli indici della popolazione mondiale (*in nero*) e della produzione alimentare (*in colore*), prendendo come uguale a 100 le medie del periodo 1961-1965. I dati effettivi si riferiscono al 1975. Poi sono indicate tre curve demografiche: le proiezioni alta, media (*linea nera continua*) e bassa delle Nazioni Unite. Vi sono anche tre proiezioni della produzione di beni alimentari. Una (*linea in colore continua*) presuppone un tasso di crescita lineare (come Malthus presumeva per la produzione dei mezzi di sussistenza); essa si basa sul tasso di crescita (una media di tre punti indice per anno) registrato fra il 1961 e il 1973. Un incremento del genere è al di sotto della proiezione media della crescita demografica. L'altra curva della produzione alimentare (*linea in colore tratteggiata*) è una proiezione fino al 1985, compiuta dalla FAO, del tasso d'incremento registrato nel 1961-1973, assumendo un tasso di crescita esponenziale. Da queste curve non si può ricavare che la produzione mondiale di alimenti sarà sufficiente a soddisfare il fabbisogno o neppure la «domanda» di tutto il mondo.

La produzione alimentare è aumentata nei paesi sviluppati (*a sinistra*) e in via di sviluppo (*a destra*) a un ritmo analogo (*curva in nero*). Ma l'incremento è in gran parte annullato in questi ultimi, dove il rapido aumento demografico riduce la produzione pro capite (*in colore*).

ancora ai nostri giorni (si veda l'articolo *Le piante e gli animali che nutrono l'uomo* di Jack R. Harlan, a pagina 62). I sistemi di coltivazione tradizionali coinvolgono soltanto l'uomo, i suoi animali, le sue sementi e la sua terra, e non hanno molto bisogno di interventi da parte del governo o dell'industria o della cooperazione di altri uomini. La produttività dei sistemi di questo genere trova un grande limite nella fertilità del suolo e nelle condizioni climatiche, e il reddito familiare, in denaro o in natura, dipende in una certa misura dalla quantità del lavoro dei campi che può essere svolto dai membri della famiglia. La maggior parte dei contadini di tutto il mondo pratica ancora una forma o l'altra di agricoltura di sussistenza.

Nel nostro secolo è stato introdotto su scala piuttosto vasta un tipo di sviluppo agricolo significativamente diverso, basato sulla scienza e sulla tecnologia e prodotto soprattutto dalla domanda dei consumatori. Questa rivoluzione agricola, che ha visto le nazioni occidentali fare da pioniere e primeggiare, è stata favorita dagli istituti di istruzione e di ricerca, dall'industria, dagli enti pubblici e dagli sforzi di popolazioni rurali innovatrici e sempre più pronte ad accogliere i moderni ritrovati della scienza (si veda l'articolo *L'agricoltura negli Stati Uniti* di Earl O. Heady, a pagina 84). Gli ultimi 75 anni hanno visto l'introduzione di nuove varietà di razze animali e di colture a più elevata resa produttiva; lo sviluppo, il miglioramento e una più vasta applicazione dei concimi chimici e dei mezzi per controllare le malattie e gli insetti nocivi; l'introduzione di un numero sempre maggiore di macchine agricole e la tendenza verso un'agricoltura industrializzata e altre forme di *agribusiness*, il tutto sostenuto alla base da una rete più estesa di strade, di distribuzione elettrica e di comunicazioni.

Ciò che si incomincia a vedere ora, e che bisogna incoraggiare, non è semplicemente la diffusione ai paesi in via di sviluppo di questo modo di vivere tecnico-scientifico, bensì una nuova fase di campagne di sviluppo rurale e agricolo condotte con precisa volontà e a ritmo sostenuto da forze nuove diverse, più persistenti di quanto lo possa essere la crescente domanda dei consumi (si veda l'articolo *Il potenziamento dell'agricoltura nei paesi in via di sviluppo* di W. David Hopper, a pagina 146). Letteralmente decine e decine di paesi stanno cercando il modo di aumentare la produzione, il reddito e il tenore di vita delle masse rurali, non però nei 50 o 75 anni che tali cambiamenti hanno richiesto nei paesi occidentali, bensì in 10 o 15 anni. Questi paesi, infatti, non hanno tempo da perdere.

Il primo obiettivo deve essere quello di aumentare la produzione alimentare, ma una maggiore quantità di cibo non è sufficiente. In fin dei conti, la gente può procurarsi gli alimenti solo in tre modi accettabili (se si escludono il furto e la violenza). Primo, chi possiede della terra potrebbe essere in grado di produrvi tutto il cibo che gli serve, o almeno una certa parte, per un dato periodo dell'anno; in questo caso si dovrebbe cercare il modo di dare la possibilità a queste persone di accrescere la loro produzione. Secondo, la gente può ricevere il cibo in dono, ma ciò, se fa guadagnare a queste persone qualche prezioso anno di vita, non ne risolve in maniera continuativa la povertà di fondo. Terzo, la gente può comprare il cibo che le serve, se ha del denaro, ma la gente che ha fame non ha denaro - sia nei paesi in via di sviluppo, sia negli Stati Uniti, sia in qualunque altro posto.

La soluzione del problema alimentare ha pertanto due componenti: l'aumento della produzione alimentare, soprattutto nei paesi in via di sviluppo, e l'aumento diffuso del reddito familiare, principalmente fra i poveri. L'aumento del reddito dovrà venire soprattutto dall'aumento della produttività e della redditività dell'agricoltura, dallo sviluppo dell'industria (specie delle industrie ad alta intensità di manodopera e in particolar modo nelle zone rurali, dove vive la maggior parte della gente), dall'occupazione nell'edilizia e nei lavori pubblici e dalla creazione dei diversi servizi che verranno richiesti a mano a mano che le zone rurali diventeranno più ricche.

Nella maggior parte dei paesi agricoli il grosso della produzione alimentare proviene da singoli coltivatori con piccole tenute a conduzione familiare. Il miglioramento della produttività e del reddito di queste persone richiederà l'introduzione di nuovi sistemi di coltivazione dei campi e di allevamento del bestiame, sistemi a elevata resa produttiva e a base scientifica studiati apposta tenendo conto del carattere specifico della combinazione di suolo, clima e condizioni biologiche ed economiche delle singole località di ogni nazione (si veda l'articolo *I sistemi agricoli* di Robert S. Loomis, a pagina 74). In questo momento sono assolutamente necessarie delle campagne concertate per entrare nei campi non solo con la conoscenza di nuove tecniche e di nuove varietà di raccolti e di animali, ma anche con strade e impianti di energia elettrica, con *input* come i fertilizzanti, i pesticidi e i vaccini per le malattie degli animali, e con accordi relativi al credito e alla commercializzazione dei prodotti agricoli.

Tutto ciò ha lo scopo di creare il principale ingrediente dello sviluppo rurale: l'aumento del reddito di un gran numero di famiglie contadine. Finché il potere d'acquisto di queste ultime continuerà ad aumentare in virtù dell'occupazione dentro e fuori delle aziende agricole, non si potrà mai risolvere il problema dell'alimentazione nel mondo. Estendendo alle masse rurali i sistemi di produzione a base scientifica e orientati nel senso del mercato, i paesi in via di sviluppo potranno avere la possibilità di espandere notevolmente il proprio mercato interno per l'industria urbana. Via via che vedranno aumentare il proprio reddito in virtù degli accresciuti profitti agricoli, le famiglie contadine potranno diventare acquirenti di beni e di servizi, creando così nuovi posti di lavoro e redditi più elevati non solo nelle fattorie, ma anche nei centri di commercio rurali e nelle città; l'ipotesi che sto avanzando, in altre parole, è che il miglioramento della produttività nell'agricoltura è la strada migliore per il progresso economico nei paesi in via di sviluppo.

Mi sia consentito ora un cenno a tre proposte, che vengono fatte sovente ma che non risolveranno mai i problemi dell'alimentazione e della fame. Aumentare il raccolto nei pochi paesi che sono rimasti con una produzione eccedente, e qui ci riferiamo in particolare agli Stati Uniti, al Canada e all'Australia, non è una soluzione. Questi paesi non hanno affatto bisogno di aumentare la loro produttività per creare delle eccedenze da destinare all'esportazione, per sostenere la bilancia dei pagamenti e per far fronte, all'occorrenza, alle esigenze impreviste prodotte da qualche calamità in una parte qualsiasi del mondo. Continuare però a distribuire viveri gratuitamente o a un prezzo basso a governi che trascurano le proprie zone rurali è controproducente, in quanto non fa altro che permettere ai governi in questione di rinviare l'ingrato e poco attraente compito di aiutare il loro popolo ad aiutarsi.

Anche l'introduzione nei paesi in via di sviluppo di un'agricoltura meccanizzata su larga scala, alla maniera occidentale, non è una soluzione. Questi metodi potranno forse essere adatti a certe zone scarsamente popolate di alcuni paesi, e potranno anche forse aiutare i governi a mettere sotto controllo nazionale le provviste alimentari, ma rimane sempre il problema che le grandi aziende agricole produrrebbero derrate anche per le famiglie dei dintorni che non hanno denaro per pagarle. Anche se la produzione di queste fattorie fosse destinata esclusivamente ai consumatori urbani, ciò priverebbe i coltivatori più piccoli di tale mercato per i loro prodotti. Cosa forse ancora più importante, un'agricoltura meccanizzata su larghissima scala è quasi sempre meno produttiva per unità di superficie di quanto possa esserlo una agricoltura su scala ridotta. Il coltivatore di un piccolo fondo può impegnarsi in sistemi di tipo orticolo intensivi e a elevata resa produttiva, quali le colture intercalari (seminare più di un raccolto nello stesso campo, forse a filari alterni), le colture plurime (seminare parecchi raccolti uno dopo l'altro, fino a quattro in un anno in certi luoghi), le colture a staffetta (seminare un secondo raccolto tra i filari di uno precedente già in via di maturazione) o altre tecniche che esigono attenzione per le singole piante. Il punto essenziale è che l'agricoltura meccanizzata è molto produttiva in termini di produzione per uomo-anno, ma non è altrettanto produttiva per unità di terreno quanto i sistemi altamente intensivi. Ed è proprio il terreno agricolo che scarseggia per la maggior parte dei contadini di molti paesi.

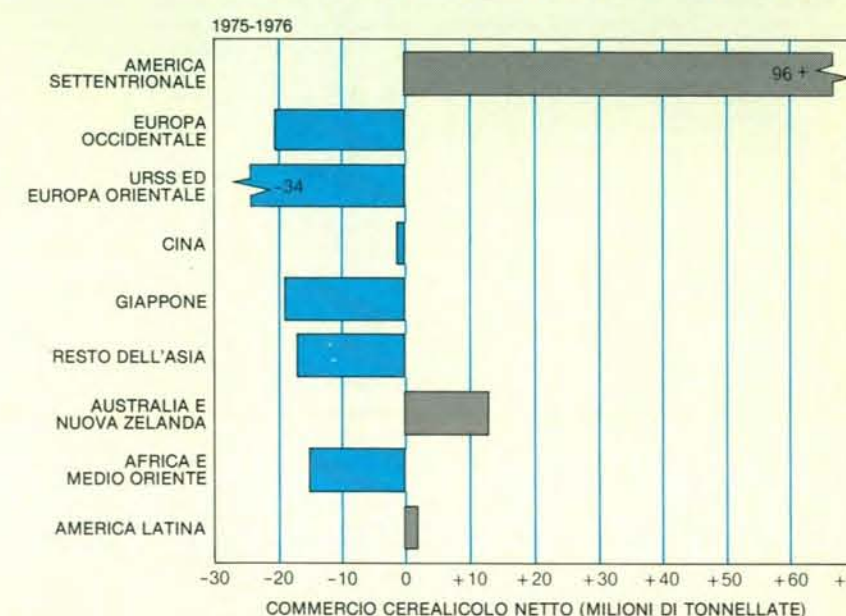
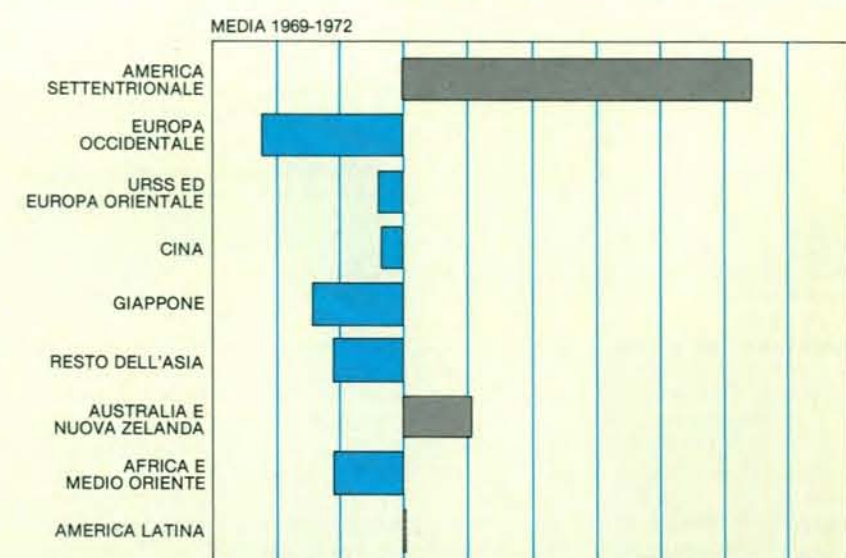
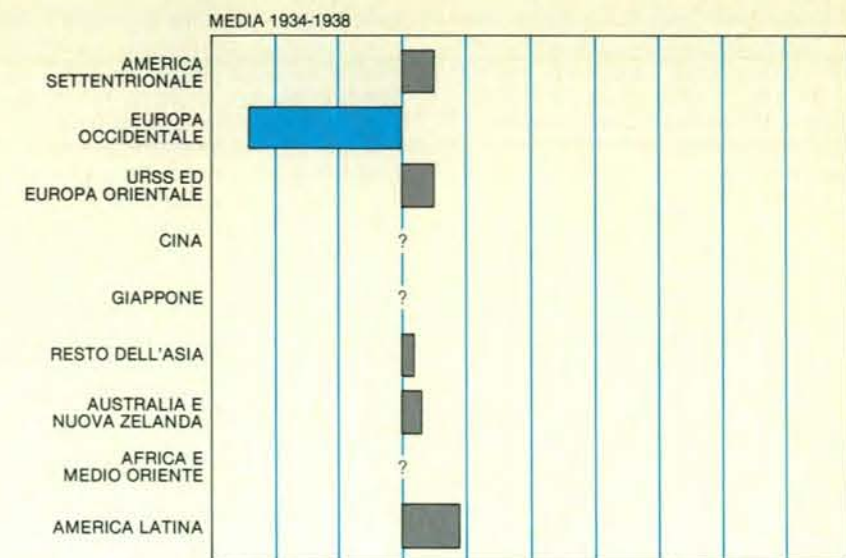
Infine, non sarà una soluzione neppure l'avvento dei cibi sintetici, delle proteine ottenute da organismi unicellulari, e così via. Questi prodotti potrebbero anche dimostrarsi preziosi alimenti aggiuntivi, ma prima di poter essere mangiati debbono essere acquistati. Ma la gente che ha fame non ha denaro e la produzione di cibi nuovi non porta a nessun aumento del reddito dei poveri. L'unica vera soluzione del problema alimentare nel mondo è che i paesi poveri aumentino rapidamente la produzione delle colture e degli animali - e del reddito - in milioni di piccoli poderi, stimolando in tal modo l'attività economica.

Previsioni dell'IFPRI sul futuro deficit alimentare dei paesi in via di sviluppo. Nel grafico sono indicati i dati effettivi, a tutto il 1975-1976 (l'annata agricola conclusasi l'estate scorsa), della produzione e del consumo dei cereali nei paesi in via di sviluppo a economia di mercato che hanno un deficit alimentare. Calcolata la tendenza della produzione dal 1960-1961, la linea di tendenza è stata proiettata fino al 1985-1986. La domanda futura è stata proiettata, partendo dall'attuale consumo umano, sulla base dell'aumento della popolazione e dei presupposti alternativi riguardo all'aumento del reddito pro capite (modificato dai dati relativi alla «elasticità del reddito», che riflettono quanta parte dell'aumento del reddito verrebbe destinata al consumo di cereali); a questa domanda umana vanno aggiunti i cereali dati in pasto agli animali nei paesi abbastanza ricchi da poter convertire in carne parte dei cereali. Tre sono le proiezioni relative alla domanda (*in colore*). Una non presume aumenti del consumo pro capite rispetto al 1961-1971 (*linea continua*), una presume un piccolo aumento del reddito (*linea spezzata*) e una un grosso aumento del reddito (*linea tratteggiata*). Le curve misurano la domanda, non il fabbisogno reale.

C'è speranza che ciò sia realizzabile? L'affermazione che questo è il momento giusto per un «programma nuovo e audace» non è, tutto sommato, nuova. Già nel 1949 il presidente americano Truman aveva proposto il suo programma di assistenza tecnica in quattro punti, sostenendo che «per la prima volta nella storia, l'umanità possiede le conoscenze e la capacità di alleviare le sofferenze» dei poveri del mondo. Chiedere oggi una nuova iniziativa, è forse più ragionevole di quanto lo fosse un quarto di secolo fa? Il fatto è che allora vi sono stati molti sviluppi significativi e promettenti.

Innanzi tutto, la natura del problema è diventata chiara soltanto negli ultimi dodici-tredici anni. Ho rilevato in precedenza che le prime proiezioni sino alla fine del secolo del fabbisogno e del deficit alimentare pare che siano state fatte da Lester Brown nel 1963 e nel 1965. La prima valutazione organica fu intrapresa nel 1966 da circa 125 scienziati e altri specialisti americani sotto gli auspici dello Science Advisory Committee del presidente; il loro rapporto, intitolato *The World Food Problem,* apparve nel 1967. In seguito si sono avute molte altre analisi, di cui la più recente e di maggior rilievo è quella della World Food Conference del 1974. Negli ultimi dieci anni il mondo ha incominciato a mobilitare le proprie forze per far fronte alle esigenze di carattere tecnico e organizzativo. Lo aumento della produzione delle colture alimentari di base è stato alla fine accettato come la soluzione primaria del problema dell'alimentazione nel mondo.

Il trasferimento della tecnologia nella agricoltura non è però un processo semplice, anche se promettente. E proprio il fatto che ora se ne comprende abbastanza bene tutta la complessità rappresenta il secondo elemento positivo. Mentre la maggior parte dei tipi di tecnologia sono ampiamente applicabili, non si può certo dire la stessa cosa per le componenti biologiche della tecnologia agricola, le quali hanno bisogno di essere studiate specificamente per ogni singola località e di essere sviluppate in essa.

Per esempio, quando Norman E. Borlang della Rockefeller Foundation incominciò a lavorare intorno alla produzione di frumento nel Messico negli anni quaranta, egli cercò per prima cosa di aumentare la resa produttiva delle varietà locali per mezzo di buone pratiche di cura delle piante e dell'impiego di concimi chimici. Le piante locali si misero subito a crescere alte e con molte foglie e furono attaccate gravemente dalla ruggine. Borlang fece arrivare allora da ogni angolo del mondo tutte le varietà che a suo parere potevano forse andar bene in Messico, ma nessuna di esse reagì in modo pari all'attesa nelle condizioni climatiche e di durata della giornata e di fronte agli organismi patogeni prevalenti in sede locale. A Borlang non rimase altra alternativa che attendere il lento processo necessario a produrre specificamente nuove varietà di frumento per le condizioni del Messico. Quando diede

La crescente dipendenza del mondo dalle esportazioni di cereali di alcuni paesi risulta da questo confronto fra il modello degli scambi commerciali prima della seconda guerra mondiale, la situazione più recente e le stime relative agli anni scorsi. I dati sono di Lester R. Brown, del Dipartimento dell'agricoltura degli Stati Uniti e dell'IFPRI. Prima della guerra la maggior parte delle regioni esportava cereali (*barre in grigio*): l'Europa occidentale li importava (*in colore*). Ora Stati Uniti e Canada forniscono la maggior parte dei cereali per colmare i deficit.

inizio al suo lavoro di ricerca, egli incominciò a preparare giovani tecnici e scienziati messicani nel campo del miglioramento e della cura del frumento e a creare fonti sicure di sementi di qualità. Una volta sviluppate nuove varietà di frumento, più corte, con il fusto rigido e resistenti alle malattie che predominano in Messico, diventò possibile applicare una quantità sempre più grande di concimi e raccogliere più chicchi che paglia. L'accresciuta redditività della produzione di frumento a sua volta indusse il governo e le organizzazioni agricole a migliorare i sistemi di irrigazione e la fornitura dei concimi necessari a rafforzare le istituzioni agricole (si veda l'articolo *L'agricoltura in Messico* di Edwin J. Wellhausen, a pagina 96). Il punto è che era proprio la tecnologia biologica di base a frenare in Messico qualsiasi progresso per quel che riguardava il frumento, così come era successo per il riso nell'Asia sudorientale e così come succede per molte colture e molti animali in parecchie zone del mondo.

Il grande vuoto nel campo delle ricerche sulle colture alimentari e sugli animali nelle zone tropicali e subtropicali è stato ora colmato in parte dalla creazione, in Asia, Africa e America Latina, di dieci centri di ricerca e di addestramento, di cui sei risalgono già al 1970. Il lavoro di questi centri è finanziato oggi da un consorzio formato da enti internazionali, governi nazionali e alcune fondazioni, il cui contributo è salito da 15 milioni di dollari nel 1972 a 65 milioni di dollari nel 1976. Intanto parecchi governi nazionali, fra cui quelli del Brasile, dell'India, delle Filippine e del Pakistan, stanno intensificando notevolmente i propri sforzi di ricerca. Per la prima volta nella storia è in corso attualmente la creazione delle indispensabili componenti biologiche di sistemi agricoli tropicali altamente produttivi.

Un terzo fattore che fa bene sperare è il grande potenziale che esiste per elevare la resa produttiva. Nel 1971-1973 c'erano 135 nazioni nelle quali il granoturco veniva prodotto in quantità notevoli. La media nazionale più elevata del mondo, dal punto di vista della resa produttiva, era costituita dalle 7,2 tonnellate per ettaro della Nuova Zelanda; negli Stati Uniti la media era di circa 5,8 tonnellate. Eppure c'erano 112 paesi in cui la produttività media nazionale era inferiore alle tre tonnellate, e in 81 di essi si scendeva addirittura al di sotto di 1,5 tonnellate! La resa produttiva di altre colture alimentari di base e dell'allevamento del bestiame è altrettanto bassa, in quanto riflette l'impoverimento del suolo dovuto a decenni, quando non si tratta di secoli, di uso continuo, il mancato controllo delle malattie e degli insetti novici, il basso potenziale di produzione delle varietà delle colture e delle razze animali indigene, la mancanza delle necessarie sostanze nutritive nei concimi o negli additivi dei mangimi e altri fattori.

In molti dei paesi più poveri l'applicazione dei concimi chimici (un buon indice del grado di intensificazione dell'agricoltura) sta soltanto incominciando a estendersi alle colture alimentari di base. Quando la concimazione si combina con varietà a alto rendimento e con migliorate pratiche agricole, la resa produttiva può salire rapidamente e in misura notevole, come fu dimostrato nel caso del frumento in India a partire dalla metà degli anni sessanta (si veda l'articolo *La agricoltura in India* di John W. Mellor, a pagina 110). Di particolare importanza è stata la creazione di varietà di frumento e di riso con il fusto corto e rigido, dette «seminane». Tali varietà possono utilizzare dosi più elevate di azoto e di altre sostanze nutritive per produrre granaglie con un rendimento maggiore rispetto alle tipiche varietà indigene, le quali, quando vengono concimate abbondantemente, tendono a crescere eccessivamente alte e ad «allettarsi», o piegarsi a terra, parecchio tempo prima del raccolto, riducendo la resa produttiva. Per ragioni analoghe si è provveduto a ridurre l'altezza delle pianticelle e a irrigidire il fusto di altri cereali, fra cui il granoturco, il sorgo e l'orzo. Quando le varietà ad alto rendimento vengono coltivate con un elevato grado di densità e sono fornite di una dose adeguata di sostanze nutritive e di umidità, le spese per controllare le malattie e gli insetti nocivi sono più che ricompensate, cosa che invece non succede ai livelli di più bassa resa produttiva dell'agricoltura tradizionale. Queste nuove varietà sono state i catalizzatori della rivoluzione agricola (si veda l'articolo *L'incremento della produzione agricola* di Peter R. Jennings, a pagina 136). Una più elevata resa produttiva si ottiene tuttavia quando tali varietà vengono coltivate associandole all'uso dei concimi, al controllo delle malattie e degli insetti nocivi, a un più alto grado di densità e ad altre misure.

Un quarto elemento nuovo è la disponibilità, per la prima volta, di concimi chimici in quantità sufficiente per una estesa produzione di colture alimentari di base nei paesi in via di sviluppo. Alla svolta del secolo la produzione mondiale di sostanze nutritive chimiche si aggirava in totale soltanto intorno ai due milioni di tonnellate l'anno, che a poco a poco aumentarono fino a raggiungere i 7,5 milioni alla fine della seconda guerra mondiale. Poi, dal 1945 al 1955, la produzione triplicò, arrivando a 22 milioni di tonnellate. Nel decennio successivo è raddoppiata ancora e attualmente si sta avvicinando a 80 milioni di tonnellate all'anno. In genere i concimi chimici si possono adoperare soltanto in sistemi orientati nel senso del mercato, in sistemi cioè in cui una parte del raccolto viene venduta per coprire il costo dei mezzi acquistati. Limitata un tempo alla produzione di colture di lusso ed estremamente redditizie, l'applicazione dei concimi fu estesa per la prima volta alle colture cerealicole negli Stati Uniti e in Europa. Ora ci rendiamo conto che la rivoluzione verde non era altro che una significativa estensione della rivoluzione agricola iniziata nei paesi industrializzati.

Quinto, è stato dimostrato che, ove ne esista la volontà, i governi possono compiere un'azione efficace e che molti coltivatori sono pronti ad adottare la nuova tecnologia se vengono loro offerte ragionevoli opportunità per farlo. Quando negli anni sessanta l'India introdusse con esito positivo in circa 13 milioni di ettari nell'arco di cinque anni nuove varietà di colture a elevata resa produttiva, fertilizzanti e tecniche organizzative, essa dimostrò che, data la disponibilità di tecnologia, un governo, se davvero lo vuole, può aumentare rapidamente la produttività agricola, e che, appena possono, i coltivatori sono pronti ad accettare sistemi più produttivi e redditizi. In seguito si sono registrati successi meno spettacolari in Pakistan, in Algeria, nelle Filippine, in Malaysia e in molti altri posti. Soltanto in questi ultimi anni si sono avute le prove che anche i piccoli coltivatori, e non solo chi possiede le tenute più grandi, possono trarre beneficio da uno sforzo di ordine scientifico e organizzativo diretto effettivamente a soddisfare le loro particolari esigenze. Sforzi di questo genere hanno avuto inizio su scala abbastanza ampia soltanto verso la fine degli anni sessanta.

Sesto, è in funzione attualmente una rete attiva di istituzioni finanziarie, fra cui la World Bank, l'Inter-American Development Bank, l'Asian Development Bank, l'African Development Bank e numerose banche del Mercato Comune, oltre alle banche agricole nazionali di molti dei paesi più poveri. Negli ultimi tre o quattro anni quasi tutte le istituzioni finanziarie più importanti hanno dato sempre maggiore rilievo allo sviluppo agricolo e rurale. Il mondo ha attualmente in funzione la maggior parte delle istituzioni necessarie per finanziare grossi sforzi in campo agricolo. Queste istituzioni per lo più non esistevano ai tempi di Truman; quelle poche che furono create allora avevano fondi limitati e, in genere, il loro primo interesse era rivolto allo sviluppo industriale, più che a quello agricolo.

Settimo, una schiera impressionante (ma ancora inadeguata) di istituzioni è sorta per assistere i paesi in via di sviluppo nel miglioramento tecnico e manageriale di programmi nazionali, offrendo anche, in alcuni casi, aiuti finanziari per l'attuazione di progetti e programmi meritevoli. Fra queste istituzioni, oltre alla Food and Agriculture Organization (FAO) delle Nazioni Unite, vi sono enti di assistenza bilaterale in 16 o più nazioni industrializzate e vi sono gli uomini della World Bank e delle banche regionali. Anche le fondazioni Ford, Kellogg e Rockefeller hanno programmi attivi.

Di particolare importanza è la libertà, conquistata solo di recente, di alcuni enti nazionali di sovvenzionare i lavori volti direttamente ad aumentare la produzione delle colture alimentari di base. L'Agency for International Development (AID) degli Stati Uniti, per esempio, è stata politicamente frenata fino al 1969 (al pari dell'affine ente canadese) dalla riluttanza a impegnarsi all'estero in sforzi diretti ad aumentare la produttività delle colture alimentari di base e in particolare dei cereali. Era generale convinzione a quel tempo, sia dentro sia fuori del governo, che non fosse bene incoraggiare altre nazioni ad aumentare la produzione di quelle colture, in quanto si temeva la concorrenza con la politica americana di vendere le proprie scorte eccedenti o perfino di regalarle. Per esempio, soltanto nell'ultima settimana dell'amministrazione del presidente Johnson, l'AID incominciò a fornire un sostegno finanziario all'International Rice Research Institute delle Filippine e all'International Maize and Wheat Improvement Center del Messico. A quel tempo era ormai evidente che il disavanzo in costante aumento dei paesi in via di sviluppo avrebbe ben presto superato la capacità produttiva degli USA e dei pochi altri paesi produttori di eccedenze agricole e stava diventando palese che la speranza di espandere i mercati internazionali di ogni genere si basava in gran parte sul miglioramento della situazione economica di molti paesi agricoli. Il fatto che gli enti americani e canadesi non fossero in grado di aiutare direttamente e apertamente altre nazioni ad accrescere la loro produzione di colture alimentari di base fece loro affrontare il problema con grave ritardo - solo sette anni fa. Da allora il ritardo è stato colmato e gli enti in questione hanno reagito con migliorata efficacia.

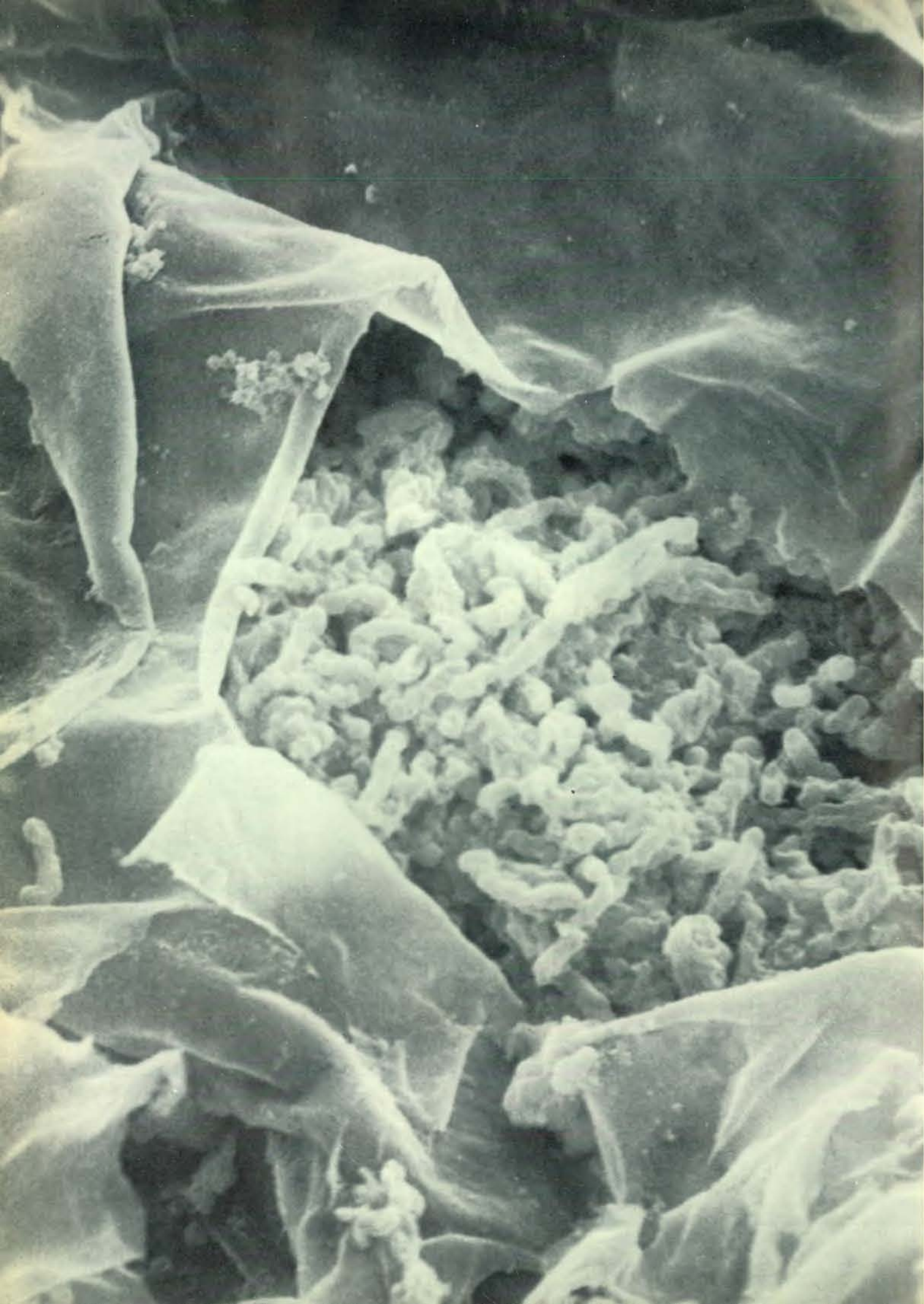
Rimane un altro importante ostacolo. La maggior parte delle istituzioni e dei singoli individui europei e nordamericani non hanno avuto molte occasioni per acquistare esperienza in fatto di organizzazione di campagne intenzionali per lo sviluppo agricolo. La cosa è comprensibile. Per molti degli ultimi 20 o 30 anni gli Stati Uniti e il Canada hanno avuto problemi di produzione eccedente; non si è mai sentita la necessità che enti pubblici o università si impegnassero in patria in campagne tendenti ad aumentare la produzione agricola. Inoltre questi paesi abbondano di imprenditori agricoli, ricercatori e innovatori per conto loro, i quali vagliano i prodotti dei laboratori di ricerca e dei centri sperimentali e li inseriscono in sistemi altamente produttivi a livello delle singole aziende. Questi imprenditori agricoli così istruiti ed eccezionalmente preparati sono invece rari nella maggior parte dei paesi in via di sviluppo. Coloro che forniscono assistenza tecnica dovranno escogitare sistemi di sviluppo agricolo e rurale per un gran numero di persone che sono intelligenti, ma prive di istruzione e che quindi non sono in grado di intraprendere per conto proprio a livello di azienda le necessarie innovazioni.

Ottavo, alcuni governi dei paesi a basso reddito stanno mostrando un nuovo fermo proposito di sviluppare le proprie zone rurali, dando particolare rilievo all'aumento della produzione delle derrate alimentari di base, all'incoraggiamento delle industrie ad alta intensità di manodopera nelle zone rurali e all'estensione delle forniture dei mezzi e dei canali commerciali alle zone in cui prima non esisteva nulla del genere.

Infine, rimangono ancora notevoli estensioni di terreni agricoli, ma attualmente ancora incolti, che si possono immettere nel ciclo produttivo, tranne forse in Europa e in alcune parti dell'Asia (si veda l'articolo *Le risorse a disposizione dell'agricoltura* di Roger Revelle, a pagina 122).

Due varietà di frumento crescono fianco a fianco in un campo dell'Indian Agricultural Research Institute nei pressi di Nuova Delhi. Le piante a sinistra si sono «allettate»: abbondantemente concimate sono cresciute troppo, il fusto si è piegato, di modo che alcune spighe si perderanno. Le piante a destra non si sono allettate; si tratta di varietà sviluppate di recente che hanno tre geni per il nanismo. La resistenza all'allettamento è critica perché rende possibile la concimazione intensa che si traduce in un maggior rendimento per ettaro.

Oggi sono necessarie campagne bene organizzate per forzare il passo dello sviluppo agricolo a un ritmo che poche nazioni in qualsiasi parte del mondo hanno mai sperimentato. Gli elementi fondamentali di tali campagne sono gli apporti di tecnologia biologica e di capitali per costruire le infrastrutture destinate a sostenere lo sviluppo rurale. Personalmente ho sottolineato il fatto che i paesi poveri debbono fare molto da soli, ma debbono anche ricevere aiuti massicci da parte dei paesi ricchi. Per gli Stati Uniti ciò richiede uno sforzo molto più serio per indirizzare specificamente verso programmi di assistenza rurale ai paesi stranieri che ne hanno bisogno, non soltanto denaro, ma anche conoscenze scientifiche e capacità tecniche.

È chiaro che qui è in gioco qualcosa di più del semplice alleviare la fame del mondo, per quanto cruciale sia tale problema. Migliorare la produttività nei paesi in via di sviluppo può fornire a milioni di persone non solo beni alimentari, ma anche abitazioni, vestiti, assistenza sanitaria, istruzione - e speranza. Aumentare la produttività agricola è la leva migliore per lo sviluppo economico e il progresso sociale nei paesi in via di sviluppo ed è abbastanza chiaro che senza tale sviluppo e tale progresso non può esserci alcuna assicurazione a lunga scadenza di accresciuto benessere o di pace in nessun angolo del mondo. L'esistenza di nuove capacità tecnologiche, finanziarie e organizzative offre un'occasione magnifica, anche se forse fugace, di prendere provvedimenti efficaci. La questione cruciale è se i governi avranno o non avranno la saggezza di agire.

Le risorse a disposizione dell'agricoltura

Le risorse fisiche rappresentate da terra, aria, energia e acqua sono immense ma hanno un limite; quelle biologiche e sociali possono invece essere ancora notevolmente incrementate

di Roger Revelle

Quando prendiamo in considerazione le risorse necessarie a fornire gli alimenti agli esseri umani siamo portati a pensare a quelle sfruttate in modo diretto con l'agricoltura. Tuttavia, solo una parte dei prodotti alimentari coltivati dagli agricoltori può essere utilizzata senza passare attraverso qualche processo. La maggior parte dei prodotti agricoli deve essere conservata, trasportata, distribuita e cucinata prima di poter servire alla nutrizione umana. Dobbiamo perciò prendere in considerazione le risorse necessarie al sistema alimentare umano nel suo complesso e non soltanto quelle sfruttate dagli agricoltori.

Ricorderemo inoltre anche gli altri modi, reali o potenziali con i quali gli esseri umani possono procacciarsi il cibo. Tanto tempo fa, quando l'agricoltura non era stata ancora inventata, gli uomini e le donne per procurarsi di che vivere si comportavano come gli altri animali a loro affini: raccoglievano le parti commestibili delle piante selvatiche e i piccoli invertebrati, cacciavano e pescavano. Per questo tipo di vita erano sufficienti pochi e semplici materiali: selci e altre pietre per costruire le punte delle lance e delle frecce, fibre vegetali per fare reti da pesca e contenitori, argilla per il vasellame, legname per cuocere e ossa per fabbricare utensili e ami da pesca.

L'industria della pesca è l'equivalente moderno di questo antico metodo per procurarsi il cibo. La pesca fornisce circa il 10 per cento delle proteine disponibili per la popolazione mondiale attuale (per i paesi poveri si tratta di una proporzione molto maggiore), ma soltanto una piccola parte dell'energia alimentare totale. Questo rapporto è probabilmente destinato a diminuire in futuro. Il massimo che si può ottenere dalla pesca non dovrebbe superare il doppio del pescato attuale, e i mezzi necessari per raggiungere questo scopo, soprattutto in fatto di combustibili, sono molto ingenti. La situazione potrebbe essere modificata dallo sviluppo della «maricoltura», ma forse questo espediente non aggiungerà gran che alla disponibilità di alimenti in un prossimo futuro.

Se la popolazione umana, che nell'anno 2000 sarà di 6-7 miliardi - per non parlare del livello che verrà presumibilmente raggiunto fra 50 o 100 anni - dovrà essere adeguatamente nutrita, sarà necessario un importante incremento della produzione agricola. Se e in che modo questo incremento potrà essere ottenuto, dipende dalla quantità di risorse a disposizione degli agricoltori e dalla loro capacità di sfruttarle. Queste risorse possono essere divise in due grandi categorie: naturali (fisiche e biologiche) e sociali.

Per quanto grandi, le risorse fisiche sono in ultima analisi limitate: si tratta dei quattro elementi fondamentali dei greci, terra, aria, fuoco e acqua. (Il nostro termine equivalente al fuoco dei greci, è energia, che viene da un'altra parola greca.) Per le risorse biologiche, invece, non si possono fissare dimensioni e limiti: esse comprendono le piante e gli animali che gli agricoltori producono e i microbi e gli altri organismi che svolgono varie funzioni nel sistema alimentare. Anche le risorse sociali sono essenzialmente illimitate; esse consistono in capitali per investimenti agricoli, istituzioni sociali che aiutano gli agricoltori a svolgere il loro lavoro, fatica e capacità umane, accumulo di conoscenze scientifiche e pratiche che nel passato hanno trasformato l'agricoltura e sulle quali possiamo contare per più profondi mutamenti nel futuro.

Il «principio della popolazione» di Thomas Malthus afferma che la popolazione umana aumenterà fino al limite imposto dalla disponibilità di alimenti. Malthus pensava che questo limite dipendesse dalle risorse naturali disponibili per l'agricoltura; riconosceva che la produzione agricola aumenta col perfezionamento della tecnologia e che anche le risorse sfruttabili possono essere aumentate, riteneva però che il tasso di crescita sarebbe sempre inferiore alla capacità che gli esseri umani hanno di moltiplicarsi. Queste idee sul rapporto fra popolazione e risorse influenzano tuttora gran parte delle teorie contemporanee. Qui vorrei considerare l'idea opposta a quella di Malthus: l'effettivo sfruttamento delle risorse per la produzione di alimenti può essere esteso fino ai limiti imposti dalle dimensioni della popolazione umana? Un problema ancora più importante: il tasso di crescita della produzione agricola può essere spinto fino a superare il tasso di crescita della popolazione, migliorando in tal modo le condizioni di vita della gente sottonutrita nel mondo? Un tale miglioramento è anzi probabilmente una delle condizioni essenziali per ridurre la natalità e per fermare di conseguenza l'incremento della popolazione.

Definire le risorse fisiche del sistema alimentare come quelle fonti che nel nostro ambiente possono essere utilizzate con la tecnologia attualmente disponibile non basta: la definizione dev'essere più precisa. Il concetto di risorsa sottintende quelli di rarità e di valore. Dato che una risorsa non esiste in quantità sufficiente per servire a tutti gli scopi possibili, si

I microrganismi azotofissatori forniscono circa i due terzi dell'azoto fissato che viene sfruttato nelle coltivazioni mondiali. Uno dei più importanti batteri azotofissatori è *Rhizobium japonicum*, che trasforma l'azoto atmosferico in ammoniaca nei tubercoli radicali della pianta di soia. La soia incorpora ammoniaca trasformandola in acidi nucleici, proteine e clorofilla. La fotografia della pagina a fronte, eseguita con il microscopio elettronico a scansione, mostra alcuni batteri *Rhizobium* liberati in seguito alla sezione di un tubercolo radicale di soia. La microfotografia, ingrandita circa 2900 volte, è di Winston J. Brill dell'Università del Wisconsin.

devono compiere delle scelte su come sfruttarla. In questo senso soltanto alcuni dei molti fattori che contribuiscono alla produzione agricola possono essere considerati risorse fisiche. Per esempio, le radiazioni solari e l'anidride carbonica stanno alla base della fotosintesi, ma non sono scarse e le quantità disponibili non possono essere modificate di molto o distribuite dall'intervento umano. Soltanto un duecentomillesimo circa della luce solare che cade sulla Terra viene convertito in energia alimentare per gli esseri umani e circa tre decimillesimi dell'anidride carbonica atmosferica vengono utilizzati temporaneamente ogni anno nel metabolismo umano prima di ritornare nell'atmosfera.

Bruciando carbone, petrolio e gas naturale, gli esseri umani aumentano involontariamente la quantità di anidride carbonica contenuta nell'atmosfera e con questo processo probabilmente riducono la quantità di luce solare in arrivo perché allargano quella parte di superficie terrestre che è coperta dalle nuvole. Se le tendenze attuali nell'uso di combustibili fossili continueranno, il contenuto di anidride carbonica nell'atmosfera potrà aumentare di cinque o sei volte nei prossimi 100 anni. Gli effetti che tutto ciò avrà sul clima sono incerti, ma sul sistema alimentare si potranno avere sicuramente gravi danni. È però certo che il processo fotosintetico, e cioè la conversione da parte delle piante di una frazione della radiazione solare in energia chimica, verrà aumentato in modo considerevole, forse quasi in rapporto diretto con l'aumento del contenuto di anidride carbonica nell'atmosfera, se, come alcuni esperimenti indicano, il fattore limitante nella produzione fotosintetica in condizioni ambientali per altri versi buone è proprio la disponibilità di anidride carbonica.

L'azoto e l'ossigeno molecolari, i due principali costituenti dell'aria, sono essenziali nel metabolismo vegetale ma, nella loro forma atmosferica - così come l'anidride carbonica - non possono essere considerati risorse dato che non hanno un valore economico. Le piante e gli animali utilizzano nella respirazione soltanto un cinquemillesimo all'anno dell'ossigeno terrestre e quasi tutto viene immediatamente restituito all'atmosfera nel processo della fotosintesi. Tutti i processi biologici sommati assieme utilizzano forse meno di un milionesimo dell'azoto atmosferico e anche questo viene restituito all'atmosfera attraverso la complessa azione batterica.

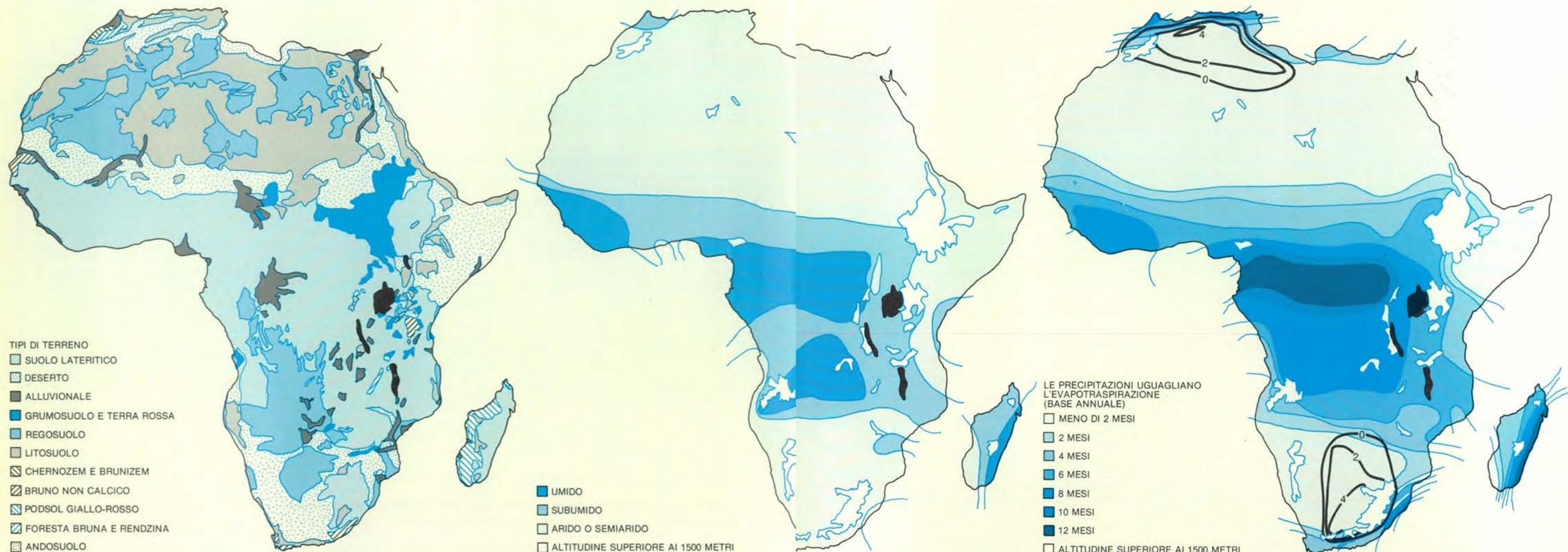
Le altre risorse fisiche - terra, acqua ed energia - sono quantitativamente limitate e possiedono un valore economico: devono essere destinate a diversi usi in seguito all'intervento umano. Quando parliamo di terra distinguiamo in termini agricoli il terreno arabile - aree coperte da un suolo in grado di produrre raccolti - e il terreno adatto al pascolo.

Sulla Terra vi sono anche depositi di rocce ricche di fosfati, sali di potassio e metalli che possono essere estratti e convertiti in sostanze nutritive per le piante e in utensili e macchine agricole.

L'acqua fa parte del substrato chimico della fotosintesi. Viene utilizzata dalle piante soprattutto per il raffreddamento e come mezzo per il trasporto di sostanze fra le diverse parti della pianta in crescita. Poiché il trasporto è regolato dalle differenti pressioni di vapore ne risulta un alto tasso di evapotraspirazione da parte delle foglie. Per esempio, frumento, riso e mais evaporano e traspirano migliaia di tonnellate di acqua per ogni tonnellata di cereale commestibile prodotto. La maggior parte dell'acqua usata volontariamente dall'uomo è destinata all'agricoltura e in molti paesi l'acqua è una risorsa piuttosto scarsa.

La più importante forma di energia utilizzata in agricoltura è la luce solare, che viene convertita in energia chimica nel processo fotosintetico. Soltanto una piccola parte dell'energia solare che investe le piante coltivate - normalmente meno dell'uno per cento - è sfruttata per la produzione di sostanze che possono servire da alimento per l'uomo. Forse il problema più importante che si presenta alla ricerca nel campo dell'agricoltura è come aumentare questa frazione.

Non esistono piante o animali capaci di fissare l'azoto, tranne i procarioti, organismi comprendenti i batteri e le alghe azzurre che non hanno veri e propri nuclei cellulari. Nei legumi parte dell'energia solare catturata nella fotosintesi viene trasferita in forma di carboidrati ai batteri simbionti chiamati rizobi che la utilizzano per formare ammoniaca a partire dall'azoto atmosferico e dall'idrogeno contenuto nei carboidrati. L'azoto così fissato viene a sua volta utilizzato dalle piante per formare clorofilla, acidi nucleici e proteine. Altri batteri utilizzano l'energia contenuta nei rifiuti organici per fissare l'azoto. Nelle alghe azzurre la conversione fotosintetica dell'energia solare e la fissazione dell'azoto atmosferico si compiono nello stesso organismo.

Nella moderna agricoltura ad alto rendimento i processi biologici di fissazione non forniscono azoto sufficiente per una produzione ottimale di raccolti non leguminosi. Da ciò deriva la necessità dell'impiego di fertilizzanti chimici azotati, nei quali l'energia necessaria alla fissazione dell'azoto è fornita dal gas naturale e da altri combustibili fossili. Il processo naturale batterico e il processo chimico di produzione richiedono circa la stessa quantità di energia per produrre un'unità di azoto fissato: quasi 15 000 chilocalorie per ogni chilogrammo. Nel processo dei batteri simbionti l'energia è fornita dallo stesso materiale sintetizzato dalla pianta ospite, il che spiega perché il rendimento per ettaro di semi di soia e di altri legumi è relativamente basso. Per ogni tonnellata di semi di soia, contenenti dal 30 al 40 per cento di proteine,

Il suolo e il clima dell'Africa illustrano alcune delle limitazioni che lo sviluppo agricolo trova anche in parti del mondo dove la temperatura, la luce solare e - in qualche regione - le precipitazioni sono favorevoli. L'Africa, con il Madagascar, si estende per il 23 per cento circa delle terre emerse del mondo, se si escludono le zone coperte dai ghiacci. L'Africa rappresenta bene il mondo intero perché circa un quinto della sua superficie è considerata potenzialmente arabile, o coltivabile, ma i tipi di terreno che vi si trovano sono fra i meno favorevoli per l'agricoltura (*cartina a sinistra*). I primi cinque tipi di terreno elencati nella tabella costituiscono il 96 per cento del terreno potenzialmente coltivabile. Un terzo dell'Africa è coperto da suoli lateritici, i terreni rossastri delle foreste tropicali, meno della metà dei quali può essere sfruttata per ottenere raccolti. Dato che questi sono i terreni più demineralizzati che esistono, per essere produttivi necessitano di fertilizzanti chimici e di molti minerali. Il 57 per cento del terreno africano potenzialmente coltivabile è costituito da questo tipo di suolo. Il 20 per cento circa è invece costituito da terreni desertici, anch'essi poveri di molti materiali nutritivi per le piante. Il regosol, un terreno sabbioso e non differenziato, costituisce il 6,4 per cento del totale africano potenzialmente coltivabile: è incapace di trattenere acqua a sufficienza a meno di speciali trattamenti. Il grumosol e la terra rossa, che sommati assieme costituiscono il 7 per cento circa del totale, presentano problemi minori. Di tutto il terreno africano coltivabile, soltanto il 7 per cento è costituito da terreno alluvionale naturalmente ricco. La seconda grossa deficienza dell'agricoltura africana è rappresentata dalla scarsezza di precipitazioni. Più della metà dell'Africa è arida o semiarida (*cartina al centro*). Per favorire l'agricoltura queste zone dovrebbero attingere acqua da fonti esterne durante tutto l'anno o una parte di esso. Nelle regioni subumide la precipitazione annua supera l'evaporazione, ma una parte delle precipitazioni deve essere immagazzinata se si vogliono ottenere raccolti secondo cicli annuali. Si possono ottenere raccolti senza ricorrere all'irrigazione soltanto nelle zone umide in quei mesi in cui la temperatura minima media non scende sotto 0 °C. La limitazione che la mancanza d'acqua impone allo sviluppo agricolo è illustrata nella cartina a destra, dove sono segnati i mesi in cui le precipitazioni, sommate all'umidità residua del terreno, superano la potenziale evapotraspirazione dei terreni coltivati. Le linee nere di contorno delimitano le zone in cui la temperatura può scendere sotto lo zero; i numeri lungo le linee indicano per quanti mesi la temperatura minima media scende sotto lo zero.

devono essere fissati 100 chilogrammi di azoto dai rizobi simbionti, i quali consumano in questo processo l'energia contenuta in 400 chilogrammi di carboidrati. Grazie all'alto contenuto di energia del gas naturale e della nafta, che sono i combustibili fossili comunemente usati nella fissazione chimica dell'azoto, vengono consumati circa solo 150 chilogrammi di combustibile per ottenere 100 chilogrammi di azoto in forma di fertilizzante azotato. Anche con gli attuali prezzi del petrolio e del gas il costo di una tale quantità di combustibile fossile è inferiore al 10 per cento del valore del raccolto.

Nell'agricoltura praticata in tutto il mondo l'azoto fissato per via sintetica corrisponde soltanto al 30 per cento circa del totale dell'azoto fissato metabolizzato dalle piante coltivate a scopo alimentare. Nel 1974 vennero utilizzati in tutto il mondo 40 milioni di tonnellate di azoto fissato per via sintetica. Secondo la stima di R.W.F. Hardy della E.I. du Pont de Nemours & Company, e di altri, la quantità di azoto fissato biologicamente nel terreno agricolo ammonta a circa 90 milioni di tonnellate: 35 milioni in raccolti di legumi, 9 milioni in raccolti alimentari non leguminosi e 45 milioni in prati e pascoli permanenti. Probabilmente altri 45 milioni di tonnellate di azoto atmosferico vengono fissati ogni anno dai fulmini, dall'azione dell'ozono e dalla combustione (incendi di boschi compresi) e una parte di questo azoto si deposita sui terreni coltivati. Si calcola che nel 2000 si utilizzeranno per l'agricoltura mondiale 160 milioni di tonnellate di azoto fissato chimicamente - il quadruplo rispetto al 1974 -, sfruttando 250-300 milioni di tonnellate di combustibili fossili, il che corrisponde a quasi il quattro per cento del consumo mondiale attuale di combustibili. Ai prezzi del 1976 di 200-250 dollari per tonnellata di azoto fissato, il costo dei fertilizzanti azotati sarebbe di 32-40 miliardi di dollari, dei quali 15-20 rappresenterebbero il costo dei combustibili fossili. Si tratterebbe comunque di una piccola frazione dei 300 miliardi che corrispondono al valore previsto della produzione agricola ottenuta applicando i fertilizzanti.

Nell'agricoltura è necessaria energia meccanica per pompare acqua per l'irrigazione, per coltivare, seminare e mietere, per trasportare le materie prime e i prodotti delle fattorie e per molti altri scopi. Nell'agricoltura tradizionale la maggior parte dell'energia meccanica è fornita dal lavoro dell'uomo e degli animali; nell'agricoltura moderna la principale fonte di energia è costituita di solito da combustibili fossili o da energia idroelettrica. David Pimentel e i suoi colleghi della Cornell University hanno dimostrato che, laddove i fertilizzanti chimici e le macchine agricole (comprese le pompe per l'irrigazione) vengono utilizzati in modo efficace nell'agricoltura moderna dei paesi sviluppati, il totale di energia da combustibili fossili richiesto per produrre cereali (che rappresentano il principale prodotto agricolo nella maggior parte del mondo) corrisponde alla metà circa dell'energia contenuta nei cereali stessi. Nei paesi sviluppati, però, i prodotti animali come carne, uova, latte, burro e formaggio rappresentano voci importanti del sistema alimentare. Gli animali trasformano soltanto il 10-20 per cento dell'energia contenuta nei loro mangimi in energia contenuta nei prodotti commestibili; inoltre, per curare e mantenere gli animali è richiesto un altro considerevole dispendio di energia. Perciò, come Pimentel sottolinea, l'energia spesa per produrre latte, uova e carne nei paesi sviluppati è spesso parecchie volte maggiore dell'energia contenuta nei prodotti che alla fine vengono messi a disposizione del consumatore.

Gli attuali alti prezzi e il prevedibile esaurimento dei combustibili fossili sollevano seri interrogativi sulla possibilità che il tipo di agricoltura dei paesi sviluppati, basata sullo sfruttamento intensivo dell'energia, possa essere estesa ad altre parti del mondo o possa comunque durare a lungo in un qualsiasi paese. In teoria, però, la maggior parte, o forse tutta l'energia richiesta dalla moderna agricoltura ad alto rendimento potrebbe essere fornita dagli agricoltori stessi. Per ogni tonnellata di cereali vi sono da una a due tonnellate di residui, non commestibili per l'uomo, ma contenenti una quantità di energia notevolmente superiore all'energia contenuta nei cereali commestibili. Se soltanto metà di questa energia potesse essere recuperata con la produzione, mediante processi di fermentazione di metano e di alcool, il fabbisogno di energia per l'agricoltura moderna - compreso quello per la produzione di fertilizzanti chimici - potrebbe venire soddisfatto completamente.

Sia nei sistemi alimentari tradizionali sia in quelli moderni l'energia spesa nel processo di trattamento degli alimenti nella distribuzione e nella cottura è molto superiore a quella consumata nella

	SUPERFICIE COLTIVABILE NETTA NELLE ZONE TROPICALI UMIDE (MILIONI DI ETTARI)	SUPERFICIE COLTIVABILE SENZA IRRIGAZIONE AL DI FUORI DELLE ZONE TROPICALI UMIDE (MILIONI DI ETTARI)	IRRIGAZIONE NECESSARIA ANCHE PER UN SOLO RACCOLTO (MILIONI DI ETTARI)	SUPERFICIE COLTIVATA LORDA SENZA IRRIGAZIONE (MILIONI DI ETTARI)	SUPERFICIE COLTIVATA LORDA CON IRRIGAZIONE (MILIONI DI ETTARI)	SUPERFICIE COLTIVATA LORDA POTENZIALE (MILIONI DI ETTARI)
AFRICA	105	490	10	705	290	995
ASIA	80	450	15	625	475	1100
AUSTRALIA NUOVA ZELANDA	0	115	2	123	2	125
EUROPA	0	170	0	205	40	245
AMERICA SETTENTRIONALE	10	440	8	535	160	695
AMERICA MERIDIONALE	300	350	24	635	80	715
UNIONE SOVIETICA	0	325	23	325	30	355
TOTALE	495	2340	82	3155	1077	4230

Il terreno potenzialmente coltivabile in grado di produrre raccolti senza ricorrere all'irrigazione costituisce il 22 per cento circa della superficie delle terre emerse non coperte dai ghiacci. Circa 495 milioni di ettari fanno parte delle zone tropicali umide e 2340 milioni sono al di fuori di esse. Esiste disponibilità di acqua per irrigare altri 80 milioni circa di ettari in modo da ottenere da essi un raccolto all'anno. A parte la superficie di terreno coltivabile per la quale non vi è acqua disponibile (circa 200 milioni di ettari), il rapporto fra terreno potenzialmente arabile e superficie totale in Africa, Asia e America settentrionale corrisponde a quello medio mondiale: circa un ettaro su cinque. In Australia, Nuova Zelanda e in URSS il rapporto è inferiore: circa un ettaro su sei-sette. In Europa però è coltivabile più di un ettaro su tre e nell'America meridionale il rapporto si avvicina a due su cinque. Dove le condizioni climatiche lo consentono, si può ottenere più di un raccolto all'anno. Le colonne indicate con «superficie coltivata lorda» danno la superficie potenziale; le cifre rappresentano il terreno potenzialmente coltivabile moltiplicato per il numero di raccolti ottenibili con una stagione di crescita della durata di quattro mesi.

produzione dell'alimento stesso. Nelle campagne indiane per esempio, per cuocere un chilogrammo di riso si consuma sotto forma di energia contenuta nei combustibili quasi il doppio dell'energia alimentare contenuta nel riso stesso. Negli Stati Uniti stime condotte da John S. Steinhart dell'Università del Wisconsin e da Carol E. Steinhart, combinate con le cifre fornite da Pimentel relative al consumo agricolo di energia, dimostrano che nei processi che hanno luogo fuori dalle fattorie (imballaggio, trasporto, distribuzione, congelamento e cottura degli alimenti) si consuma il doppio di energia rispetto a quella consumata dagli agricoltori per produrre gli alimenti.

I tre più importanti fattori biologici in agricoltura sono: i patrimoni genetici delle piante coltivate e degli animali domestici; i vari tipi di microrganismi e, infine, i lombrichi, gli insetti e altri organismi di maggiori dimensioni che smuovono e ossigenano il terreno. Delle specie viventi di piante e di animali, solo una piccola parte è stata domesticata fino al punto di svolgere una funzione nel sistema alimentare umano: si tratta, tra i vegetali, soprattutto di cereali e di leguminose commestibili, di alcuni tuberi e di un numero abbastanza limitato di verdure, frutti e semi e, fra gli animali, di ruminanti, suini e pollame. Queste poche specie sono divenute altamente specializzate passando attraverso varie generazioni di allevamento controllato. Ora sono molto diverse dai loro antenati selvatici, soprattutto per quanto riguarda la vulnerabilità alle malattie e la resistenza agli insetti nocivi. Uno dei principali problemi dell'agricoltura moderna è quello di mantenere una sufficiente differenziazione nei patrimoni genetici delle specie domestiche e di conservare i geni dei loro parenti selvatici, allo scopo di rendere possibile l'allevamento di nuove varietà resistenti agli organismi patogeni mutanti e agli insetti nocivi quando si presentano nelle diverse parti del mondo.

Oltre ai batteri azotofissatori e alle alghe azzurre, altri microrganismi che rivestono un'importanza fondamentale nel sistema alimentare mondiale sono la flora batterica che vive nel rumine di bovini e ovini; i microbi del terreno, funghi e batteri, che svolgono diverse funzioni e i microrganismi che possono essere sfruttati per modificare gli alimenti per mezzo della fermentazione. Una delle più notevoli associazioni simbiotiche riguardanti gli esseri umani è quella fra uomo, ruminanti e batteri che vivono nel rumine. I batteri sono in grado di trasformare la cellulosa - che l'uomo non può metabolizzare - in zuccheri e carboidrati, i quali invece vengono metabolizzati dall'uomo. I batteri producono inoltre amminoacidi (le subunità delle proteine) a partire da composti azotati semplici. In questo modo i ruminanti forniscono all'uomo proteine nobili a partire da una dieta di erbe, foglie, rifiuti organici e perfino escrementi umani e animali, assieme ad alcuni composti semplici, come l'urea. Nell'agricoltura e nella pastorizia tradizionali i ruminanti costituiscono, loro malgrado, un mezzo per lo immagazzinamento e il trasporto delle scorte alimentari e forniscono inoltre buona parte dell'energia meccanica necessaria alla coltivazione dei campi.

Un grammo di terreno fertile può contenere decine di migliaia di protozoi e alghe, un milione di cellule fungine e più di dieci milioni di batteri. È noto da tempo che gli enzimi e gli acidi prodotti dai batteri liberano sali minerali contenuti nel terreno, fosfati e altre sostanze nutritive per le piante, ma soltanto recentemente si è scoperta l'importanza di certi funghi. I funghi sono formati prevalentemente da strutture sotterranee chiamate micorrize che sono attaccate alle radici delle piante; essi decompongono materia organica e incorporano i prodotti nel loro micelio. I minerali e le sostanze organiche vengono trasportati alle radici delle piante attraverso le micorrize. Come F.W. Went dell'Università del Nevada ha precisato, questo processo può assumere particolare importanza nei terreni tropicali demineralizzati, nei quali la crescita delle piante dipende dal riciclaggio del materiale organico da morto a vivente e la funzione principale del terreno è semplicemente quella di servire da sostegno alla struttura verticale della pianta. Altri microrganismi del terreno producono antibiotici e composti organici che favoriscono la crescita, quali l'acido beta-indoloacetico e le gibberelline. Went ha scoperto che nelle zone aride gli strati superficiali dei terreni sabbiosi sono tenuti assieme da funghi microscopici che impediscono la erosione eolica.

Nel sistema alimentare umano lo spreco di alimenti dovuto a deterioramento è di vitale importanza. Nei paesi ricchi è disponibile energia sufficiente a impedire il deterioramento mediante refrigerazione; in quelli poveri si devono cercare metodi meno costosi. Fra i metodi più diffusi vi sono i processi di fermentazione attuati da vari microrganismi, che producono alimenti commestibili e facilmente digeribili e che possono essere conservati molto più a lungo. Il processo fermentativo non soltanto aggiunge sapori caratteristici che sono apprezzabili di per sé, ma spesso aumenta anche il contenuto di riboflavina e di altre vitamine. I crauti e lo yogurt sono prodotti della fermentazione comuni nella dieta americana ed europea; il tempeh, il ragi, il sufu, lo shoyu, l'ang-kak, il fungo del tè e il mizo fanno parte della dieta alimentare dei paesi asiatici.

Più di un secolo fa Charles Darwin precisò l'importanza della funzione svolta dai lombrichi nell'ossigenazione e nel rivolgimento del terreno. Darwin calcolò che ogni cinque anni tre centimetri di sottosuolo vengono portati alla superficie dai lombrichi. Dopo Darwin, però, non sono più state studiate a fondo le attività dei vermi e degli altri animaletti che vivono nel terreno.

Il processo di ammodernamento della agricoltura richiederà un grosso investimento di capitali quasi in ogni parte del mondo. In molte zone devono essere costruite dighe, sbarramenti, canali e corsi d'acqua per immagazzinare, deviare e distribuire l'acqua dei fiumi per l'irrigazione. Altrove possono essere costruiti grandi pozzi con pompe a motore per attingere a depositi sotterranei alimentati dalla pioggia e dallo scorrimento idrico. Che l'irrigazione sia o non sia necessaria, i terreni agricoli devono essere drenati, il che spesso implica il livellamento e la costruzione di canali di drenaggio o di drenaggi sotterranei. Nella maggior parte dei villaggi dei paesi in via di sviluppo mancano ancora le strade che collegano le fattorie al mercato per portare il fertilizzante e altri prodotti e per trasportare il raccolto. La produttività per ettaro verrà in linea di massima incrementata livellando o terrazzando i terreni agricoli e in molti luoghi devono essere costruiti argini contro le alluvioni. Nella maggior parte dei paesi in via di sviluppo sono necessari magazzini che proteggano i raccolti dagli insetti e dall'umidità e anche i mercati andrebbero migliorati. Si devono anche creare aziende agricole specializzate nella produzione di varietà da semina a resa elevata.

La maggior parte delle principali strutture necessarie possono essere create, nei paesi poveri ad alta densità di popolazione, dalla manodopera umana con scarso impiego di macchine e questo processo può coprire gran parte della disoccupazione e della sottoccupazione rurale. D'altra parte, per la produzione di fertilizzanti chimici, pesticidi e macchine agricole si renderanno necessari grossi investimenti in macchine e materiali. Nei prossimi 25 anni occorreranno qualcosa come 400 impianti per fertilizzanti azotati, ciascuno capace di produrre 1000 tonnellate di ammoniaca al giorno (o la corrispondente quantità di urea). Il costo totale sarà di almeno 40 miliardi di dollari. Nel 1967 il gruppo di studio sulle riserve alimentari mondiali del Science Advisory Committee del presidente Johnson calcolò che, per raddoppiare la produzione agricola nelle zone attualmente coltivate dell'Asia, dell'Africa e dell'America latina, sarebbe necessario costruire impianti per la produzione di pesticidi

	1970			2000		
	SUPERFICIE COLTIVATA (MILIONI DI ETTARI)	POPOLAZIONE (MILIONI)	SUPERFICIE COLTIVATA PER PERSONA (ETTARI)	SUPERFICIE COLTIVATA LORDA POTENZIALE (MILIONI DI ETTARI)	POPOLAZIONE PREVISTA (MILIONI)	SUPERFICIE COLTIVATA LORDA POTENZIALE (ETTARI PER PERSONA)
AFRICA	165	345	0,48	995	750	1,33
ASIA	475	2055	0,23	1100	4090	0,27
AUSTRALIA, NUOVA ZELANDA	20	20	1,00	125	35	3,57
EUROPA	150	460	0,33	245	580	0,42
AMERICA SETTENTRIONALE	240	320	0,75	695	530	1,31
AMERICA MERIDIONALE	80	190	0,43	715	440	1,63
UNIONE SOVIETICA	230	245	0,94	355	340	1,04
TOTALE	1360	3635	0,37 (MEDIA)	4230	6765	0,62 (MEDIA)

La superficie di terreno coltivato per persona potrebbe essere allargata in tutto il mondo entro il 2000. Soltanto una piccola parte dei 1360 milioni di ettari effettivamente coltivati nel 1970 produceva più di un raccolto all'anno. I 4230 milioni di ettari di superficie potenziale coltivata lorda previsti per l'anno 2000 costituiscono un traguardo che potrebbe essere raggiunto se si ottenesse più di un raccolto su quasi un terzo dei 2900 milioni di ettari di terreno coltivabile netto. L'Asia avrà grosse difficoltà a raggiungere il rapporto desiderato di superficie coltivata lorda per persona. Africa e America meridionale sono attualmente le più adatte per l'incremento della produzione agricola.

per un costo superiore al miliardo di dollari. Col valore attuale del dollaro, il costo sarebbe probabilmente doppio.

Nelle zone tropicali e subtropicali, dove si trova la maggior parte dei paesi in via di sviluppo, il clima rende possibile ottenere due o tre raccolti all'anno (questo dove c'è acqua a sufficienza e dove i terreni non sono troppo demineralizzati). Oltre a incrementare di molto la produzione alimentare, questi raccolti multipli estenderanno e stabilizzeranno il livello occupazionale. Ma il doppio o triplo raccolto annuo sarà possibile soltanto se potrà essere ridotto lo spazio di tempo necessario per la coltivazione dei campi fra la raccolta e la piantagione. Per accelerare l'aratura e la coltivazione, potrà essere necessario integrare la forza degli animali con piccoli trattori. Se si vogliono ottenere raccolti durante la stagione delle piogge, saranno necessari anche essicatoi meccanici. In Pakistan, India e altrove l'esperienza insegna che queste macchine agricole, insieme con motori, pompe e intelaiature per pozzi possono essere direttamente costruite in piccoli laboratori meccanici nelle città rurali, utilizzando acciaio e altri metalli prodotti in fabbriche centralizzate.

Nell'agricoltura tradizionale ogni villaggio è in gran parte autosufficiente e le istituzioni sociali che lo regolano, per quanto ingiuste e discriminatorie, si sono consolidate attraverso l'esperienza di secoli. L'agricoltura moderna, invece, ha bisogno di istituzioni nuove: banche che effettuino prestiti a tassi di interesse abbastanza bassi e dove i contadini possano investire i loro risparmi, cooperative per acquistare e distribuire i prodotti agricoli di base e per la vendita delle derrate, sistemi che offrano sicurezza ai contadini e ai piccoli proprietari oppressi dai debiti, incentivi che facilitino l'adozione di nuove tecnologie, prezzi fissati dal governo che stimolino i contadini ad aumentare la produzione agricola, meccanismi per la distribuzione e la vendita di beni di consumo che offrano agli agricoltori ulteriori facilitazioni, scuole facilmente accessibili e bene organizzate e sistemi di comunicazione fra la città e la campagna che favoriscano l'abbattimento delle barriere convenzionali.

Nelle società agricole tradizionali i principali fattori della produzione sono la fatica dell'uomo e l'esperienza che si tramanda di padre in figlio. Queste società possono essere viste come ecosistemi parzialmente chiusi in cui la maggior parte dell'energia che deriva all'uomo e agli animali dal prodotto della fotosintesi delle piante viene utilizzata per procurare alimenti i quali a loro volta forniscono la quantità di energia necessaria a produrre nuovi alimenti, e così via in un ciclo che si ripete all'infinito. Gli ecosistemi vengono sconvolti dal rapido incremento della popolazione. Ho calcolato che nell'India rurale circa il 40 per cento dell'energia alimentare contenuta nella dieta di un uomo, una donna o un bambino che abbia superato i 10 anni viene consumato per il solo mantenimento del sistema alimentare. Uno degli scopi dell'ammodernamento dell'agricoltura deve essere quello di alleviare questa servitù dell'uomo o, in termini di economia, di ridurre l'incidenza del fattore lavoro umano nella produzione agricola.

Un modo per raggiungere questo scopo consiste nell'ampliare la conoscenza scientifica della biologia vegetale e animale, delle acque e dei terreni dell'ambiente, e nel trasformare questi progressi scientifici in conoscenze pratiche sfruttabili da parte del contadino. Il complesso mondiale di istituzioni per la ricerca agricola può svolgere entrambi questi compiti, ma dev'essere sostenuto da una più estesa e diffusa ricerca biologica di base. In campo agricolo si potrebbe essere sul punto di compiere una rivoluzione fondamentale basata sulle nuove tecniche di combinazione genetica, in cui geni di specie diverse vengono ibridati, e di genetica delle cellule somatiche, in cui singole cellule vengono manipolate in colture speciali.

Virginia E. Walbot dell'Università di Washington ha descritto le notevoli possibilità offerte dai metodi di ricombinazione e di manipolazione genetica delle cellule somatiche. Nei programmi attuali di produzione di colture la selezione di caratteristiche utili quali la resistenza agli insetti nocivi o un alto tasso di crescita a temperature inferiori al normale richiede la coltivazione di decine di migliaia di piante complete. Per trovare il ceppo genetico desiderato è necessaria almeno una stagione di crescita, e devono passare parecchi anni per ottenere il prodotto da semina. Con i metodi di manipolazione genetica delle cellule somatiche si possono conservare in una singola provetta milioni di cellule, e il tempo di generazione si misura in ore o in giorni invece che in mesi o anni. In una singola generazione si possono ottenere cellule dotate di determinate caratteristiche di resistenza e da esse si possono ottenere in poche settimane cloni ossia una numerosa discendenza di individui simili. Si è già in grado di coltivare piante capaci di riprodursi partendo da cellule selezionate o da piccole quantità di tessuto in una dozzina circa di specie, fra le quali la carota, il tabacco e il granoturco. Entro i prossimi decenni dovrebbe essere possibile introdurre specifici materiali genetici in una cellula di cereale in modo da determinare il contenuto proteico e la composizione del seme, l'efficienza fotosintetica, la distribuzione del prodotto della fotosintesi fra il seme e il resto della pianta, e la capacità di fissare azoto.

Un'importante scoperta di questi ultimi anni è che le piante coltivate hanno meccanismi fotosintetici differenti per fissare il carbonio. La fotosintesi del riso e del frumento produce molecole con tre atomi di carbonio, mentre quella del granoturco o mais e del sorgo produce molecole con quattro atomi di carbonio: le prime sono chiamate piante C_3 e le altre piante C_4. Le piante C_4 possiedono maggiore capacità di fotosintesi e minore fotorespirazione, il che significa che sono in grado di assorbire e utilizzare maggior quantità di luce solare con una minore perdita del prodotto della fotosintesi dovuta a ossidazione durante le ore diurne. Le piante C_4 vivono bene a temperature elevate, quelle C_3 sembrano più adatte a temperature inferiori. Molte specie indigene del deserto hanno sviluppato un terzo sistema per assumere l'anidride carbonica dall'atmosfera durante la notte: questo sistema viene chiamato metabolismo dell'acido crassulacico (CAM) per il fatto che è stato rinvenuto e studiato nelle crassulacee, una famiglia di piante dalle foglie carnose. Attraverso questo meccanismo le piante sono in grado di ridurre drasticamente le perdite di acqua durante le ore diurne.

Per mezzo della manipolazione genetica dovrebbe essere possibile combinare le caratteristiche dei sistemi CAM e C_4, cioè combinare le caratteristiche del riso o del frumento con la maggiore capacità fotosintetica delle piante C_4. Entro il 2000 per mezzo della ricerca genetica applicata potrebbero essere create specie completamente nuove. Una nuova specie da raccolto ideale dovrebbe produrre la parte commestibile della pianta con una capacità fotosintetica due o tre volte superiore a quella di qualsiasi seme commestibile esistente; dovrebbe fissare il proprio azoto preferibilmente nelle foglie piuttosto che nelle radici; le proteine contenute nella parte commestibile dovrebbero possedere la quantità di amminoacidi necessaria all'uomo e la pianta dovrebbe risparmiare acqua, cioè dovrebbe evaporare e traspirare, per unità di prodotto commestibile, una quantità di acqua inferiore a quella dei cereali attualmente prodotti. Con tutto ciò, dovrebbe sembrare ancora un cereale, averne lo stesso sapore ed essere in grado di dare il pane, la pasta o il chapati.

Come il precedente esempio dimostra, molti fattori della produzione agricola sono, o potrebbero essere, intercambiabili. La nuova ipotetica specie di cereale richiederebbe aree coltivabili meno estese, minore irrigazione e quantitativi di fertilizzante chimico azotato inferiori a quelli richiesti da qualsiasi altra pianta coltivata per fornire la stessa quantità di energia. Eppure sarebbe ancora necessario un terreno arabile e bene irrigato, considerando la dispersione naturale dell'energia solare, la piccola quantità di luce solare catturata nella fotosintesi e la necessità che tutte le piante hanno di evaporare e traspirare acqua.

Il fabbisogno fisiologico medio di energia alimentare per un essere umano è inferiore alle 2500 chilocalorie al giorno, energia che può essere fornita da 700 grammi di frumento, riso o granoturco. Nel Midwest statunitense la resa media in granoturco per ettaro è di solito superiore ai 6000 chilogrammi di sostanza commestibile, il che equivale a circa 60 000 chilocalorie di energia alimentare al giorno per ettaro. In altre parole, un ettaro di terreno agricolo di alta qualità, lavorato a un notevole livello di tecnologia agricola è sufficiente a dar nutrimento a 24 persone.

Estrapolando - e senza modificare gli altri fattori -, l'attuale popolazione mondiale di quattro miliardi potrebbe essere alimentata da 170 milioni di ettari di terreno. In questo momento il terreno coltivato per produrre cibo, fibre tessili e altri prodotti agricoli corrisponde a quasi 1,4 miliardi di ettari. Come dire che vi è un ettaro di terreno coltivato per ogni 2,9 persone. Le ragioni per cui il terreno coltivato è otto volte più esteso di quanto sarebbe il minimo necessario calcolato sono parecchie. In effetti i terreni che forniscono un raccolto corrispondono a circa metà-due terzi della superficie totale del terreno coltivato; il resto è temporaneamente a maggese o a prato per il fieno o per il pascolo.

Il 10 per cento circa della superficie coltivata è destinato a prodotti non alimentari, come cotone, tabacco, caucciù, caffè, tè e iuta. Un'altra grossa parte è destinata alla produzione di mangime per il bestiame di grossa e piccola taglia. Una parte del bestiame fornisce energia meccanica per coltivare i campi, e inoltre burro, uova, latte e carne. Il bestiame consuma una quantità di energia alimentare da 5 a 10 volte superiore all'energia che l'uomo ottiene da essi. Inoltre dal 10 al 20 per cento degli alimenti viene distrutto dagli insetti nocivi e una percentuale minore serve per la semina.

Naturalmente, il motivo principale per cui devono essere coltivati molto più dei 170 milioni di ettari corrispondenti all'ipotetico minimo necessario risiede nel basso livello di rendimento che si registra nella maggior parte del mondo. Il contadino indiano o pakistano, invece di sei tonnellate per ettaro, raccoglie in media poco più di una tonnellata per ettaro, di frumento o di riso. Gran parte del terreno coltivato oggi nel mondo è meno adatto all'agricoltura di quanto non siano i suoli ricchi, profondi, pianeggianti e facilmente lavorabili del Midwest statunitense, e, fatto ancora più importante, il livello raggiunto dalla tecnologia agricola nei paesi in via di sviluppo è ancora molto basso.

L'importanza delle caratteristiche climatiche e del terreno è illustrata dalla differenza esistente fra i valori dei raccolti nei 48 stati degli USA. Nell'Illinois e nello Iowa questo valore corrisponde a più di 130 dollari per ettaro della superficie totale dello stato; nel Delaware e nell'Ohio è sui 75-80 dollari; nel Wisconsin, nel Mississippi, nella South Carolina, in Georgia e nel Tennessee va da 35 a 45 dollari; nella West Virginia, nel Montana, nel New Hampshire, nello Utah, nel New Mexico, nello Wyoming e nel Nevada è inferiore ai 10 dollari. Nel Kansas si coltiva quasi il doppio del terreno che si coltiva nell'Indiana, ma il valore totale del raccolto è superiore nell'Indiana. Nel Minnesota e nel North Dakota si coltiva la stessa quantità di ettari, ma il valore del raccolto nel Minnesota è superiore del 70 per cento. D'altra parte, le massime rese in dollari per ettaro di terreno coltivato (fra 1470 e 1700) si ottengono in Florida, California, Massachusetts e Arizona, quattro stati ben diversi per quanto riguarda il tipo di terreno, il clima e i raccolti. Aranci, pompelmi, pomodori e canna da zucchero costituiscono i principali prodotti commerciali della Florida; in California si producono uva, fieno, pomodori e lattuga; nel Massachusetts mirtilli, fieno, tabacco e mele; in Arizona cotone, lattuga, fieno e frumento. È evidente che con una gestione appropriata, un sufficiente investimento di capitali e un mercato soddisfacente si può avere un'agricoltura ad alto rendimento in gran parte degli Stati Uniti, nonostante le grosse differenze climatiche e dei terreni.

La terraferma - senza considerare le zone coperte dai ghiacci dell'Antartide e della Groenlandia - copre una superficie di 13 miliardi di ettari. Di questi, 2,6 miliardi non sono coltivabili perché la temperatura è inferiore a 0 °C per nove o più mesi all'anno. In altri 1,9 miliardi di ettari invece vi è umidità (pioggia e neve, o acqua immagazzinata nel terreno) sufficiente o superiore all'evapotraspirazione delle piante e del terreno per meno di tre mesi all'anno, e non c'è possibilità pratica di irrigazione. Il solo fattore del clima riduce quindi la superficie potenzialmente coltivabile a 8,5 miliardi di ettari.

Nel 1967 il gruppo di studio sulle riserve alimentari mondiali del President's Science Advisory Committee, dopo un esame approfondito concluse che dei 13 miliardi di ettari della superficie terrestre libera dai ghiacci, soltanto circa 3,2 miliardi possono essere coltivati. E questo, per le limitazioni imposte dal clima e dalle caratteristiche fisiche della superficie. Questi studi portarono alla divisione dei terreni in 13 grandi gruppi geografici. In sei di questi gruppi (corrispondenti al 75 per cento della superficie totale) la maggior parte del terreno non è adatta alla coltivazione. La parte più estesa della superficie non coltivabile (2,6 milioni di ettari) è costituita da regioni montuose o aride in cui il terreno è roccioso o coperto da litosuoli pietrosi e poco profondi. Le aree desertiche non coltivabili coprono 1,7 miliardi di ettari. Altri 1,6 miliardi di ettari di terreni non coltivabile sono costituiti dai podsol demineralizzati, acidi e prevalentemente sabbiosi delle foreste della zona temperata fredda. 0,7 miliardi di ettari di terreni sabbiosi e indifferenziati chiamati regosol sono anch'essi non coltivabili, e anche la tundra artica (0,5 miliardi di ettari) è troppo fredda per essere coltivata.

Dopo le regioni rocciose, montuose o aride, con il gruppo dei litosuoli, l'area geografica più vasta è coperta dai suoli lateritici: i terreni rossicci o bruno-giallastri delle savane e delle foreste delle regioni tropicali e subtropicali. Si tratta dei terreni più esposti alle intemperie del clima e più demineralizzati del mondo. Molti di essi sono poveri non soltanto di fosforo, ma anche di tutti gli altri minerali che forniscono il nutrimento necessario alla crescita delle piante: carbonato di potassio, carbonato di calcio, ossido di magnesio, solfati e composti azotati. La forma finale di questo suolo è la laterite, un terreno ad alto contenuto di ossidi di ferro che si indurisce irreversibilmente quando si asciuga e viene esposto all'aria. I suoli lateritici non coltivabili coprono 1,4 miliardi di ettari, ma comprendono anche la più grande superficie di terreno coltivabile, e cioè più di un miliardo di ettari. Per un'agricoltura ad

TIPO DI INVESTIMENTO	COSTO (MILIARDI DI DOLLARI)
AUMENTO DELLA CAPACITÀ DEI POZZI DI 2800 METRI CUBI AL SECONDO	3,75
CANALI E DEPOSITI DI SUPERFICIE	16,50
ELETTRIFICAZIONE DEI POZZI	4,50
LIVELLAMENTO, TERRAZZAMENTO E DRENAGGIO DEL TERRENO	7,50
IMPIANTI PER LA PRODUZIONE DI FERTILIZZANTI (550 MILIONI DI TONNELLATE DI AZOTO ALL'ANNO)	1,80
CONTROLLO DELLE ALLUVIONI E OPERE DI DRENAGGIO SU VASTA SCALA	5,00
RICERCA E AMPLIAMENTO, FABBRICHE DI UTENSILI, MACCHINARI E PESTICIDI. RICERCHE DI MERCATO E ATTREZZATURE PER L'IMMAGAZZINAMENTO	2,50
TOTALE	46,55

Per avere un sensibile aumento del rendimento dei raccolti nelle stagioni favorevoli saranno necessari grossi investimenti di capitali. La tabella indica voce per voce gli investimenti necessari per ottenere una produzione agricola ottimale in 50 milioni di ettari in India. Per nutrire la popolazione mondiale prevista per l'anno 2000 in Asia, Africa e America meridionale gli investimenti elencati nella tabella vanno moltiplicati varie volte se si vuole trasformare il terreno potenzialmente coltivabile in appezzamenti altamente produttivi capaci di dare due o più raccolti all'anno. Il costo totale di questo ammodernamento potrebbe superare i 700 miliardi di dollari.

alto rendimento, tuttavia, questi terreni devono essere alcalinizzati con carbonato di calcio e integrati con metalli in tracce.

Le maggiori concentrazioni di terreni coltivabili sono costituite dai suoli erbosi semiaridi, subumidi e umidi delle medie latitudini. Si tratta dei terreni chernozem, produttori di frumento, e dei terreni brunizem, produttori di granoturco, che si estendono per 0,5 miliardi di ettari di superficie coltivabile. Secondi in ordine di qualità vengono i terreni alluvionali delle grandi valli fluviali di tutto il mondo, con 0,3 miliardi di ettari di terreno effettivamente coltivato o potenzialmente coltivabile, e 0,2 miliardi di ettari di grumosol neri e pesanti e di terre rosse, che sono rispettivamente i prodotti dell'erosione di rocce basiche e calcaree nei climi tiepidi o caldi con precipitazioni stagionali regolari. Circa un quinto della superficie coperta da terreni desertici e un sesto di quella coperta da podsol sono coltivabili, e sommati assieme ammontano a 0,75 miliardi di ettari. Tutti gli altri gruppi sommati assieme corrispondono a 0,4 miliardi di ettari di terreno coltivabile.

I 3,2 miliardi di ettari di terreno coltivabile corrispondono al 24 per cento della superficie mondiale delle terre emerse, a 2,3 volte la superficie abitualmente coltivata e a più di tre volte la superficie che produce raccolti. Di questi 3,2 miliardi di ettari, 0,3 necessitano di irrigazione per produrre anche un solo raccolto.

L'irrigazione a scopo agricolo costituisce il principale uso che l'uomo fa deliberamente dell'acqua, eppure attualmente per questo scopo si consuma una piccola parte delle scorte disponibili. Poco più di 1000 chilometri cubi, e cioè meno del 4 per cento della portata totale dei fiumi, servono per irrigare 160 milioni di ettari di terreno, corrispondenti a circa il 12 per cento delle superfici coltivate. Ogni anno i restanti 1,2 miliardi di ettari di terreni coltivati evaporano e traspirano circa 10 volte 1000 chilometri cubi d'acqua sotto forma di pioggia o neve senza i quali non produrrebbero alimenti e fibre tessili. La maggior parte dell'acqua dei fiumi scorre verso il mare senza quasi che l'uomo se ne serva, e più della metà dell'acqua che evapora dai continenti - in particolare quella evaporata nelle umide foreste fluviali e nelle savane semiumide tropicali - svolge nella vita umana una funzione trascurabile.

La diffusione potenziale dell'irrigazione è molto grande, ma è limitata dall'irregolarità nella distribuzione delle portate dei fiumi nei diversi continenti e nelle diverse zone climatiche di ogni continente. Harold A. Thomas, jr., Peter Rogers e io abbiamo calcolato che la portata dei fiumi dell'America meridionale (meno del 15 per cento della superficie terrestre totale) corrisponde a un terzo del totale mondiale, mentre quella dell'Africa (23 per cento della superficie terrestre totale) corrisponde al 12 per cento soltanto del totale mondiale. Le portate dell'Asia sudoccidentale, dell'Africa settentrionale, del Messico, degli Stati Uniti sudoccidentali, dell'America meridionale temperata e dell'Australia corrispondono, sommate assieme, al 5 per cento del totale mondiale, mentre la superficie di quelle terre rappresenta il 25 per cento delle terre emerse.

Una conseguenza di questa distribuzione irregolare è che soltanto un terzo dei terreni potenzialmente coltivabili con l'irrigazione può effettivamente venire irrigato (e così la superficie totale di terreno potenzialmente coltivabile si riduce a tre miliardi di ettari), e il potenziale incremento - mediante irrigazione - della superficie lorda dei terreni coltivati (cioè la somma delle aree potenzialmente coltivabili moltiplicata per il numero di raccolti con stagioni di crescita di quattro mesi che potrebbero essere ottenuti da ciascuna zona) è limitato a 1,1 miliardi di ettari. Senza irrigazione si potrebbero ottenere tre raccolti in 0,2 miliardi di ettari con l'umidità dei tropici, e due raccolti in 0,8 miliardi di ettari nelle regioni subumide. In 1,5 miliardi di ettari si potrebbe ottenere, senza irrigazione, un solo raccolto. Ne deriva che la superficie potenziale lorda di terreno che può fornire raccolti è di 4,6 miliardi di ettari senza irrigazione, e di 5,7 miliardi con irrigazione. Di questo totale, 1,5 miliardi di ettari si trovano nelle zone tropicali umide, dove non esiste tecnologia per un'agricoltura ad alto rendimento se si eccettuano l'isola di Giava e poche altre zone con suoli profondi e sottoposti a recente azione degli agenti atmosferici. Se si considera il livello attuale della tecnologia, la superficie potenziale lorda che si presta a essere coltivata con rendimento relativamente alto è quindi di poco superiore ai 4,2 miliardi di ettari (*si veda l'illustrazione a pagina 126*).

Circa il 10 per cento della superficie totale coltivata dovrebbe continuare a produrre fibre tessili e altri raccolti non alimentari, portando a 3,8 miliardi di ettari (al di fuori delle zone tropicali umide) la superficie totale di terreno coltivato per produrre alimenti per l'uomo. Supponendo prudenzialmente che i terreni di bassa qualità e la topografia irregolare limitino il rendimento medio a metà di quello del Midwest statunitense, da questa superficie totale si potrebbero ottenere 11,4 miliardi di tonnellate di prodotti alimentari (o l'equivalente in energia alimentare), sufficienti a fornire un minimo di 2500 chilocalorie al giorno a quasi 40 miliardi di persone (sempre che le perdite dovute agli insetti e gli usi a scopi non alimentari fossero mantenuti entro il 10 per cento del raccolto).

Oltre ai terreni coltivabili, 3,6 miliardi di ettari della superficie terrestre potrebbero servire per il pascolo del bestiame, con una produzione annuale di 25-50 milioni di tonnellate di animali, che sarebbero in grado di fornire ogni giorno qualche grammo di proteine animali a tutti i membri della popolazione umana prevista per la fine del XX secolo.

Dato che in esse il clima consente di effettuare due o più raccolti all'anno in vaste regioni, le più estese superfici potenziali lorde coltivabili si trovano nei paesi in via di sviluppo dell'Asia, dell'Africa e dell'America latina. Qui potrebbero essere messi a coltura (al di fuori delle zone tropicali umide) rispettivamente 1100, 995 e 715 milioni di ettari. Perché queste superfici da potenziali divengano reali sarebbe necessario irrigare più di 700 milioni di ettari e rendere più moderni i vecchi sistemi di irrigazione. Sarebbero anche necessarie aggiunte di terra per i terreni acidi demineralizzati e si dovrebbero impiegare fertilizzanti chimici per evitare la necessità di tenere i terreni a maggese per l'accumulo di azoto in più di 1500 milioni di ettari lordi di terreno coltivato.

L'America settentrionale viene subito dopo quella meridionale per quanto riguarda la superficie potenziale lorda coltivata, con 695 milioni di ettari. L'espansione potenziale minore si trova in Australia e Nuova Zelanda, in Europa e nell'Unione Sovietica. Nonostante l'enorme estensione (il 17 per cento delle terre emerse del mondo), l'URSS ha soltanto 355 milioni di ettari di superficie potenziale lorda coltivabile, il che corrisponde all'8,4 per cento mondiale. Il 65 per cento di questi 355 milioni potenziali sono però effettivamente coltivati, mentre nell'America meridionale siamo all'11 per cento e in Africa al 17 per cento. In Europa la superficie coltivata corrisponde al 61 per cento di quella coltivabile e in Asia al 43 per cento.

La densità di popolazione nei terreni coltivati è massima in Asia e in Europa (rispettivamente 0,23 e 0,33 ettari per persona) e minima in Australia e Nuova Zelanda, dove la media è di un ettaro per persona (*si veda l'illustrazione a pagina 128*). Nell'Unione Sovietica si coltivano 0,94 ettari per persona, nell'America settentrionale 0,75. L'Africa e l'America meridionale sono in una posizione intermedia, con 0,48 e 0,43 ettari per persona. Se entro il 2000 l'intera superficie potenziale lorda coltivabile venisse tutta utilizzata, la superficie coltivata per persona aumenterebbe dappertutto: ben poco in Asia, Europa e Unione Sovietica, mentre, più o meno si triplicherebbe invece in Australia, Nuova Zelanda, America meridionale e Africa.

È evidente che per aumentare la produzione alimentare mondiale devono essere utilizzate molte altre risorse oltre al terreno coltivabile e all'acqua. Per ottenere il massimo della produzione potenziale devono essere disponibili tutte le risorse in quantità adeguata. Altrimenti, come insegna la famosa legge del minimo di Justus von Liebig, una delle risorse agirà da fattore limitante. È vero che alcune, abbondanti, possono sostituirne altre che scarseggiano, ma non ne esiste nessuna che possa sostituire il fosforo nel metabolismo vegetale e animale. Il fosforo è perciò un componente essenziale dei fertilizzanti agricoli. Gran parte dei fosfati contenuti nei fertilizzanti viene tolta al terreno e va perduta negli escrementi umani e animali. È perciò che sono in molti a essere preoccupati per le scorte future di fosfati.

Nel 1968 sono stati usati 7,6 milioni di tonnellate di fosfati per i fertilizzanti. Per nutrire i 6-7 miliardi di persone che presumibilmente abiteranno la Terra nel 2000 potrebbe essere necessario portare la quantità annuale di fosforo necessario per i fertilizzanti a 30-40 milioni di tonnellate. Allo stato attuale della tecnologia agricola un aumento del 100 per cento del rendimento agricolo esigerebbe un aumento del 270 per cento della quantità di fertilizzanti impiegati.

S'è valutato che il potenziale recupero di fosforo dalle riserve conosciute di rocce ad alto contenuto fosfatico sia di 18 000 milioni di tonnellate. Col tasso di sfruttamento previsto per l'inizio del XXI secolo tali riserve si esaurirebbero nel giro di 450-600 anni. Si sa che esistono riserve di rocce a inferiore contenuto di fosfati, che, secondo gli ingegneri minerari, presumibilmente contengono otto volte la quantità di fosforo economicamente estraibile oggi dai depositi. In molti altri paesi si trova una concentrazione di fosfati ancora inferiore. Al livello tecnologico previsto, però, l'estrazione del fosforo dai depositi a scarsa concentrazione farebbe aumentare bruscamente il costo dei fertilizzanti fosfatici e quindi il costo degli alimenti. Un giorno potrebbe essere meno costoso recuperare tutto il fosforo rimosso dal terreno nei raccolti e nei prodotti animali e riciclarlo per la produzione alimentare.

Per ottenere l'irrigazione e un'agricoltura ad alto rendimento nei paesi in via di sviluppo sarà indispensabile un grosso investimento di capitali. Nella tabella di pagina 130 possiamo leggere la stima dei costi previsti per l'irrigazione di 50 milioni di ettari lordi in India. Anche in questa regione, coltivata fin dai tempi antichi, dove gran parte delle infrastrutture sociali sono stabilizzate, sarebbe necessario investire quasi 1000 dollari per ettaro. Supponendo (nonostante l'alto grado di incertezza) che i costi nelle altre parti dell'Asia, America latina e Africa fossero gli stessi che in India, sarebbero necessari più di 700 miliardi di dollari per la diffusione dell'irrigazione e l'ammodernamento dell'agricoltura in quei continenti, compreso il costo del carbonato di calcio e di altri additivi per i terreni dei suoli lateritici troppo demineralizzati. Se questo investimento fosse distribuito nell'arco di 25 anni, il costo sarebbe di 30 miliardi di dollari all'anno, cioè meno dell'uno per cento dell'attuale prodotto mondiale lordo. A causa della scarsità di capitali dei paesi in via di sviluppo, sarebbe necessario che una buona parte di questi investimenti venissero dai paesi sviluppati. Non sembra questo un prezzo troppo alto da pagare per trasformare il tenore di vita di quella notevole parte della popolazione mondiale che vive in condizioni di indigenza, tenendo anche conto del fatto che questo è probabilmente il sistema migliore per ridurre il tasso di natalità.

L'incremento della produzione agricola

La nuova tecnologia della rivoluzione verde rende possibili maggiori raccolti per unità di area, grazie soprattutto alla selezione di piante adatte alle esigenze di un'agricoltura di tipo intensivo

di Peter R. Jennings

Il moderno rifiuto della profezia malthusiana poggia sulla convinzione che i progressi nel campo della tecnologia agricola renderanno possibile produrre un maggior quantitativo di alimenti per ogni ettaro di terreno coltivato. Sono già stati realizzati alcuni importanti progressi nella produttività. I primi successi su ampia scala si ebbero negli anni venti e trenta nei paesi sviluppati della zona temperata, mentre per i paesi in via di sviluppo delle zone tropicali e subtropicali, dove è della massima urgenza ottenere una produttività più elevata, è stato stabilito solo da poco un vasto programma per incrementare la produttività agricola. Esso ha già dato sostanziali risultati positivi nei confronti di alcune colture, in particolare il frumento e il riso. I suoi primi successi gli sono valsi il nome di «rivoluzione verde».

L'elemento chiave per migliorare la produttività è la selezione di nuove varietà di piante agrarie. Un primo obiettivo è lo sviluppo di varietà che diano una buona resa quando sono seminate fitte e vengano somministrati a esse fertilizzanti, acqua e pesticidi. Si possono conferire loro anche altre proprietà desiderabili, come la resistenza alle malattie e agli insetti e la tolleranza per un'ampia gamma di climi, di suoli e di altri fattori ambientali. In teoria, ogni caratteristica ereditabile della pianta può venire manipolata dall'agronomo.

I recenti aumenti nella produzione di frumento e di riso in un certo numero di paesi in via di sviluppo attestano il potenziale valore dei programmi di selezione vegetale. Tuttavia, anche per le suddette colture la richiesta di varietà migliorate non è affatto terminata, né potrà mai esserlo veramente; inoltre vi sono, nei paesi in via di sviluppo, molte altre colture che richiedono una uguale attenzione. La rivoluzione verde non ha risolto il problema del fabbisogno alimentare mondiale, ma piuttosto ha dimostrato che esiste un metodo per tentare di risolverlo. Questo metodo può avere successo soltanto se viene continuamente applicato al miglioramento delle colture.

La selezione di piante adatte alla coltivazione ha una lunga tradizione proprio in quelle parti del mondo che sono oggi considerate meno sviluppate: tutte le principali colture a scopo alimentare sono state domesticate qui. Gli agricoltori del neolitico erano già in grado di osservare le variazioni in seno alle popolazioni vegetali, di selezionare i semi dei migliori esemplari e di coltivare solo le varietà più pregiate. Per migliaia di anni è stata esercitata una costante pressione selettiva e le piante che sono sopravvissute e si sono riprodotte sono state solo quelle favorite dall'uomo. Il progresso non è stato rapido, ma il contributo degli antichi agricoltori non è inferiore a quello dei moderni agronomi e genetisti.

Nel processo di domesticazione, sono state introdotte in innumerevoli ambienti specie con una notevole variabilità spontanea e, in ogni area, si sono perpetuate quelle varietà che si sono dimostrate più produttive. Sono state così create migliaia di varietà distinte e molte di queste sono sopravvissute fino a oggi: per esempio, sono stati raccolte più di 30 000 varietà diverse di riso. La moltitudine delle varietà oggi esistenti è di incalcolabile valore e alle antiche popolazioni dei tropici va in gran parte il merito di aver creato e conservato quella che è diventata la massima risorsa delle moderne tecniche di ibridazione vegetale: un abbondante plasma germinativo, o germoplasma, appartenente a varietà d'importanza agraria.

I metodi di selezione ideati dall'uomo neolitico sono rimasti immutati fino al XX secolo, anche se negli ultimi decenni sono stati applicati in maniera più sistematica e con una maggiore sofisticazione. La tecnica viene chiamata «selezione di linee pure». Il ricercatore parte da una popolazione mista di piante e seleziona i semi di quelle che sembrano possedere le caratteristiche desiderate. Si coltivano i semi e, dalla progenie, si selezionano di nuovo i semi migliori. Si possono poi selezionare le varietà più tolleranti, o resistenti, per esempio alla siccità o a determinate specie di insetti nocivi, ricorrendo a test specifici. Quando viene attuata con diligenza e attenta osservazione, la tecnica di selezione di linee pure può dar luogo a considerevoli miglioramenti. La limitazione fondamentale del metodo sta nel fatto che esso sfrutta soltanto quelle combinazioni genetiche che si trovano in natura. Se un carattere desiderabile viene scoperto, lo si può utilizzare soltanto nella varietà che risulta possederlo, ma che contemporaneamente può presentare anche altre caratteristiche indesiderate. Il metodo delle linee pure non offre alcun mezzo per trasferire un carattere da una linea a un'altra.

L'era moderna della selezione vegetale ha avuto inizio al principio di questo

Questa fotografia aerea mostra vari lotti sperimentali per la coltivazione del riso presso l'International Rice Research Institute (IRRI) a Los Baños nelle Filippine. L'IRRI è stato il primo di una rete di istituti internazionali, costituiti per migliorare la resa delle colture nei paesi in via di sviluppo. L'elemento essenziale di questo programma è stato lo sviluppo di varietà nane di cereali, incluso il riso, che rispondevano bene alle somministrazioni di fertilizzanti. A questo scopo vengono incrociate grandi quantità di piante e i tipi genetici così ottenuti vengono valutati in base alle loro caratteristiche. Ogni appezzamento rappresenta una varietà migliorata di riso.

secolo con la riscoperta delle leggi dell'ereditarietà, formulate da Gregorio Mendel nel 1866. Quelle leggi affermavano che la trasmissione ereditaria avviene attraverso l'assortimento di caratteri distinti e isolati, determinati da geni. I geni si comportano come unità che si segregano durante la riproduzione e che si ridistribuiscono a caso nella progenie in tutte le possibili combinazioni. Le leggi dell'ereditarietà implicano la possibilità di creare nuove combinazioni di geni e quindi varietà non esistenti in natura.

La base di un programma moderno di selezione vegetale è l'impollinazione incrociata, o ibridazione. Per le piante agrarie che si autoimpollinano naturalmente, come il frumento e il riso, il procedimento prende inizio da due linee pure, ognuna delle quali ha caratteristiche che vengono considerate importanti. Le due linee vengono sottoposte a una impollinazione incrociata e i semi che ne risultano sono poi coltivati: la progenie ibrida viene definita generazione F_1.

Tutte le piante della generazione F_1 sono identiche, ma quando esse si inincrociano per autoimpollinazione, nella generazione successiva, definita generazione F_2, compare una notevole gamma di variabilità. La generazione F_2 contiene un numero enorme di nuovi genotipi: sono rappresentate in essa tutte le possibili combinazioni dei caratteri parentali. Vengono selezionate quelle piante che hanno ereditato dalle varietà parentali i caratteri desiderabili e, mediante autoimpollinazione, si ottengono successive generazioni (designate come F_3, F_4, e così via). A ogni generazione si realizzano successive selezioni, eliminando i genotipi meno desiderabili. Con il procedere dell'inincrocio, la popolazione diventa più stabile e, all'incirca alla generazione F_6, le linee selezionate sono essenzialmente pure. A partire dalla seconda generazione (F_2), le piante vengono valutate individualmente riguardo alla resistenza alle malattie, all'altezza, alla qualità e a molte altre proprietà e le selezioni vengono stabilite in base ai risultati. Per finire, in vari ambienti, si effettuano prove sul campo delle linee pure. Il risultato finale è la selezione di un unico genotipo che rappresenta la combinazione ottimale delle caratteristiche parentali.

Esiste un certo numero di variazioni possibili nel procedimento di base dell'ibridazione, utilizzato dai genetisti agrari. Per esempio, si può introdurre in una linea materiale genetico in sovrappiù, incrociando una terza varietà parentale con un ibrido F_1, o incrociando due diversi ibridi F_1. Esiste anche un certo numero di limitazioni, la principale delle quali è che, in certi casi, i geni per caratteri diversi sono disposti l'uno accanto all'altro su un singolo cromosoma e, pertanto, tendono a essere ereditati come un'unica entità. Nel complesso, però, il germoplasma di una coltura agraria ha una considerevole plasticità e, lavorando con costanza e disponendo di sufficienti mezzi, è possibile sviluppare una varietà vegetale che abbia la maggior parte delle caratteristiche desiderate.

La selezione di piante è in larga misura una questione di numero: quante più sono le linee ibridate e quante più sono le piante coltivate dopo un'ibridazione, tanto maggiore è la probabilità di trovare nella progenie esemplari di rilievo. Negli ultimi anni, i programmi di miglioramento vegetale nelle regioni tropicali sono stati molto sviluppati. Si producono ogni anno centinaia di ibridi e da essi si ottengono decine di migliaia di linee migliorate; sono coltivati e studiati milioni di singole piante. Inoltre, in ambiente tropicale, è possibile coltivare in condizioni diverse due o tre generazioni ogni anno. I progetti di miglioramento realizzati negli Stati Uniti tendono a essere molto più limitati. I programmi dei paesi tropicali operano invece con un volume maggiore di materiale sperimentale e consentono di ottenere varietà ben definite con molta maggiore rapidità.

Le varietà originarie, non migliorate, di colture come il frumento, il riso e il granoturco, non sono inferiori di per sé. Date le condizioni nelle quali sono state coltivate, esse possono rappresentare l'optimum in mezzo a una quantità di varietà disponibili. Inoltre, gli agricoltori che le hanno coltivate per generazioni non sono né arretrati, né incompetenti: al contrario, le loro pratiche colturali riflettono una saggia strategia agricola ed economica.

Nell'agricoltura tradizionale, la fertilità del suolo è spesso il fattore che limita la crescita. In particolare l'azoto è presente di solito in piccola quantità e la sua scarsità è più rilevante nei suoli tropicali che altrove. Le varietà agrarie indigene sono in grado di estrarre l'azoto e altre sostanze nutritive dal terreno con una grande efficienza. Esse sviluppano estesi sistemi radicali, interessando una vasta area, e sono caratterizzate da una crescita vigorosa, che sopprime le erbe infestanti, le quali competono con loro per le sostanze nutritive disponibili. Essendo state selezionate con i metodi tradizionali per migliaia di anni, hanno acquisito un adattamento preciso, anche se limitato, alle condizioni locali, tra cui vanno segnalate il tipo di terreno, la quantità d'acqua disponibile, la durata della stagione di crescita, le temperature medie ed estreme e il fotoperiodo, o numero di ore diurne, che è una funzione della latitudine.

VARIETÀ PARENTALI AABBCC — × — aabbCC

F_1 AaBbCC

F_2 AABBCC AABbCC AAbbCC AaBBCC AaBbCC AabbCC aaBBCC aaBbCC aabbCC

F_3 AABBCC AABbCC AAbbCC AAbbCC AabbCC aabbCC

F_4 AAbbCC AAbbCC

F_5 AAbbCC AAbbCC

La produzione di ibridi e la selezione delle loro progenie sono le tecniche fondamentali per sviluppare nuove varietà agrarie. Con il riso, il processo ha inizio a partire dall'impollinazione incrociata di due linee pure. Qui le piante vengono rappresentate come se avessero geni solo per tre caratteri (*A*, *B* e *C*) e si ammette che ogni gene abbia solo due forme (rappresentate dalle lettere maiuscole e minuscole). La progenie delle piante sottoposte a impollinazione incrociata viene designata come generazione F_1: si tratta di piante tutte uguali e tutte con un'uguale quota di geni ereditati da ogni linea parentale. Esse si riproducono per autoimpollinazione e, nella loro progenie (generazione F_2), compare una vasta gamma di diversità genetica. Qui, dove le varietà parentali differiscono per soli due caratteri (*A* e *B*), la generazione F_2 ha nove distinti genotipi; le piante agrarie differiscono di solito per molti più caratteri e si devono coltivare quantitativi molto elevati di piante per poter ottenere campioni di tutte le possibili combinazioni genetiche. Nella generazione F_2, il ricercatore può incominciare a selezionare alcune piante, conservando i semi di quelle che possiedono caratteristiche più desiderabili. La selezione viene intensificata nelle successive generazioni e la popolazione diventa più stabile quanto più le piante sono geneticamente uniformi. Mediante ibridazione è possibile incorporare in un'unica varietà le migliori caratteristiche di molti tipi. Nell'esempio è stato selezionato il genotipo *AAbbCC*.

Una varietà indigena di pianta agraria è raramente una linea pura; è, invece, una popolazione in cui tutti i membri possono avere caratteristiche esteriori simili, ma genotipi diversi. Popolazioni di questo tipo sono chiamate razze agrarie. La diversità genetica di queste razze agrarie può essere di grande valore per l'agricoltore tradizionale, dato che conferisce loro perlomeno una parziale resistenza alla predazione da parte degli insetti e alle malattie e una parziale tolleranza agli stress ambientali come la siccità. Per esempio, se una coltura viene infettata da una particolare malattia, alcuni ceppi che compongono la razza risultano probabilmente suscettibili, mentre altri possono essere ben resistenti e sopravviveranno. Inoltre, la non uniformità della popolazione vegetale tende a limitare il numero massimo di agenti infestanti e di organismi patogeni e quindi a impedire disastrose perdite nei raccolti. Il risultato di questo sistema agricolo consiste nel dare all'agricoltore una discreta sicurezza. In particolare, la strategia dell'agricoltore in un'agricoltura di sussistenza è non di ottenere la massima resa negli anni migliori, ma, invece, di assicurare una discreta resa anche negli anni peggiori.

Il principale difetto del sistema agricolo tradizionale è che la produttività non può essere aumentata in misura significativa. L'unico modo attendibile per ottenere un maggior raccolto per ettaro è quello di coltivare più piante per ettaro, il che richiede ovviamente di disporre le piante più vicine le une alle altre. Con tipi non migliorati, questo non è possibile a causa delle loro caratteristiche grandi dimensioni e per il fatto che esse competono tra loro per la luce e le sostanze nutritive. La terra, inoltre, non può sostenere una popolazione maggiore, quale deriva da una semina più fitta o da un trapianto troppo ravvicinato. Il patrimonio nutritivo del suolo verrebbe rapidamente esaurito e le piante non riceverebbero un'adeguata insolazione, sviluppandosi quindi meno di quanto sperato.

La soluzione al problema dell'esaurimento delle sostanze nutritive nel terreno è la concimazione chimica, che include anche una generosa somministrazione di azoto. È questo l'unico modo per aumentare la densità vegetale, necessaria per ottenere una resa più alta. Tuttavia, quando una varietà indigena viene coltivata con una forte dose di fertilizzante, emergono parecchi nuovi problemi. In primo luogo, la maggior parte delle sostanze nutritive che si rendono disponibili vengono impiegate non per aumentare la porzione edule della pianta, ma per

La genealogia delle moderne varietà di riso selezionate mette in luce una complessa sequenza di ibridazioni. La maggior parte delle varietà moderne sono piante nane o seminane, che possono essere piantate fitte e possono essere abbondantemente concimate per dare rese elevate. Quelle i cui nomi cominciano con le lettere IR sono state sviluppate dall'IRRI; quelle con le lettere CICA da una collaborazione tra enti nazionali e internazionali in Colombia. Il primo dei tipi moderni a essere diffusamente adottato è stato l'IR 8, creato incrociando un riso indonesiano alto, Peta, noto per la crescita vigorosa con una varietà nana di Taiwan, *Dee-geo woo-gen*.

la crescita vegetativa. Aumenta molto la superficie delle foglie e, poiché le piante sono molto vicine, ogni foglia fa ombra sulle altre; come risultato, l'efficienza fotosintetica globale della coltura si riduce. Con i cereali sorge un problema ancora più serio: dato che la concimazione accresce la dimensione delle piante nelle varietà tradizionali, i semi vengono portati da un culmo che si è molto allungato e, molto prima che essi siano maturi, il loro peso diventa eccessivo, per cui, il vento o la pioggia fanno allettare il culmo il quale si incurva o si spezza; i semi cadono a terra, dove vanno in buona parte perduti.

Il problema dell'allettamento e della crescita vegetativa eccessiva è stato risolto producendo varietà nane e seminane per i principali cereali. In effetti, lo sviluppo di queste varietà spiega il successo della rivoluzione verde. Le piante nane hanno foglie corte ed erette, per cui in popolazioni fitte esse non si fanno ombra l'una con l'altra. Anche il culmo è corto e rigido e capace di sostenere fino alla maturità una spiga o una pannocchia piena di cariossidi. I sistemi radicali sono relativamente piccoli, ma grandi non sarebbero necessari dato che la concimazione assicura un adeguato rifornimento di sostanze nutritive. I fertilizzanti sono una voce essenziale nella coltivazione delle nuove varietà; senza di essi, queste varietà non si comportano meglio dei tipi tradizionali, anzi alle volte peggio. Anche se alcune hanno una notevole resistenza nei riguardi di malattie e di agenti infestanti di vario tipo, vengono comunque trattate spesso con pesticidi chimici e richiedono anche un controllo delle erbe infestanti e una regolare irrigazione. Tutte queste esigenze fanno aumentare i costi di coltivazione, ma questo tipo di investimento è ampiamente ripagato dal notevole aumento della produttività.

La trasformazione dell'agricoltura nei paesi tropicali ebbe inizio in Messico nel 1943, con un programma di cooperazione patrocinato dalla Rockefeller Foundation e dal governo messicano. Il traguardo da realizzare era un aumento nella produzione delle colture alimentari di base in Messico e, per cominciare, ci si dedicò soprattutto al miglioramento del frumento primaverile. I metodi e le modalità organizzative di questo primo programma hanno profondamente influenzato il successivo corso dei programmi in altri paesi.

Venne organizzato un gruppo di lavoro, costituito principalmente da cittadini messicani e comprendente specialisti in numerose discipline (genetica vegetale, patologia vegetale, suoli, entomologia e gestione di aziende agrarie) e specialisti nel campo dell'informazione, per servire da intermediari tra la stazione di ricerca e le aziende agrarie operanti sul campo. Venne stabilito un traguardo semplice e pratico: ottenere presto un forte aumento della produzione nazionale di frumento. Tutti gli altri interessi erano subordinati a questo. Un aspetto importante del programma messicano è stata la formazione dei gruppi interdisciplinari, in cui ogni membro offriva la propria esperienza nel suo settore. Questo modo di affrontare la ricerca agricola differisce da quello della massima parte delle istituzioni statunitensi, in cui i ricercatori sono spesso isolati dai loro colleghi che operano in campi affini. In Messico l'importanza attribuita ai gruppi interdisciplinari ha favorito in larga misura il successo del programma e lo stesso piano di organizzazione è stato poi adottato dalla maggior parte degli altri programmi di miglioramento delle colture agrarie nelle regioni tropicali.

Il gruppo messicano interessato al frumento si mise subito all'opera per mettere insieme il maggior numero possibile di risorse genetiche, e ottenne linee di frumento da tutte le regioni dell'emisfero occidentale e dall'Africa orientale, dal Medio Oriente e dall'Asia meridionale. Incroci tra queste linee e i frumenti indigeni messicani vennero poi selezionati in base alla resa, alla resistenza agli insetti e alle malattie e all'ambito di adattamento, particolarmente nei riguardi del fotoperiodo e della temperatura. Il critico problema dell'allettamento venne risolto nel 1953 con un fortunato incrocio di varietà messicane con frumenti seminani nordamericani. I geni nani dei tipi americani derivano a loro volta da un gruppo di tipi seminani giapponesi, chiamati Norin. Quando vennero prodotte le prime varietà seminane, la produttività era già stata sostanzialmente migliorata e i frumenti a fusto corto determinarono un ulteriore forte aumento delle rese.

Negli anni quaranta, il Messico aveva importato la metà del frumento consumato, così da compensare un deficit di produzione; le rese ammontavano in media a 750 chilogrammi per ettaro. Nel 1956, la nazione fu autosufficiente per il frumento, malgrado il forte aumento della popolazione. Nel 1970 le rese raggiungevano le 3,2 tonnellate per ettaro.

Dall'inizio del progetto di miglioramento del frumento, la selezione delle varietà sperimentali include prove sul campo in paesi oltreoceano, in cui le varietà selezionate messicane, migliorate, venivano incrociate con varietà locali. Alla metà degli anni sessanta, il successo di questo programma era già evidente, in

RENDIMENTO (TONNELLATE PER ETTARO)
10
8
6
4
2
0
IR 8
PETA
0 20 40 60 80 100 120
AZOTO SOMMINISTRATO (CHILOGRAMMI PER ETTARO)

La risposta ai fertilizzanti è il fattore più importante, che contribuisce a migliorare le rese delle colture di cereali. Essa è notevolmente diversa per IR 8 (*in colore*), una varietà nana moderna, e per Peta, un tipo tradizionale, alto, di riso. In assenza di fertilizzante azotato, Peta può essere superiore a IR 8, ma la resa di ambedue le varietà è comunque bassa. Quando invece Peta viene abbondantemente concimato, diventa troppo alto e il culmo non riesce più a sostenere la spiga con le cariossidi. La pianta subisce allora l'«allettamento»: cioè il culmo si curva o si spezza e i semi cadono sul suolo, riducendo notevolmente la resa effettiva. La varietà IR 8 ha, invece, un culmo corto e rigido, capace di sostenere le spighe fino al momento della loro completa maturazione.

buona parte a causa del vasto adattamento ambientale delle varietà. A partire dal 1966, le sementi cominciarono a essere esportate in quantità, soprattutto in India, nel Pakistan e in Turchia. Raccolti record furono realizzati quasi immediatamente.

Il secondo grande successo delle tecniche di selezione vegetale nei paesi tropicali si ebbe con il riso, dopo l'insediamento nel 1960, nelle Filippine dell'International Rice Research Institute (IRRI). Il modo di affrontare i problemi fu, in questo caso, analogo a quello che aveva avuto un chiaro successo in Messico. Anche qui furono formati gruppi di ricerca internazionali e interdisciplinari e, di nuovo, venne data la massima priorità a un traguardo pratico, consistente nel migliorare le rese delle colture. Venne fatto pervenire plasma germinativo da tutti i paesi del mondo produttori di riso: la collezione attuale dell'Istituto contiene più di 30 000 varietà. Si ravvisò subito l'importanza di ottenere come prima cosa un riso di bassa statura, che potesse essere piantato fitto, che resistesse all'allettamento e che rispondesse a una abbondante concimazione, aumentando la produzione delle cariossidi piuttosto che del fogliame.

Vale la pena di considerare in qualche dettaglio i procedimenti e i problemi implicati in un simile programma di miglioramento. Sia il riso sia il frumento si autoimpollinano naturalmente e l'ibridazione è un procedimento delicato e lungo. Ogni fiore sulla pianta deve essere aperto e devono venir rimosse le antere che portano il polline prima che siano mature. In seguito, in ogni fiore, le antere provenienti dalla varietà parentale prescelta vengono divise in pezzi e poste sullo stigma e l'intera infiorescenza viene racchiusa in un sacchetto, in modo da proteggerla da altro polline.

La semente ibrida che ne risulta e che darà la generazione F_1 viene coltivata in genere in condizioni protette, mentre la generazione F_2 e le generazioni successive vengono coltivate in vivai all'aperto e in serre dove le piante sono esposte a stress controllati. Nella generazione F_3 e nelle generazioni successive, si determinano sul campo, in condizioni standard, le prestazioni di tutte le varietà selezionate, confrontandole con quelle delle altre linee; l'ambito di adattamento può poi essere controllato mediante valutazioni in altri paesi del mondo. Se si cerca un particolare carattere, per esempio la resistenza a un determinato virus, allora si affronta una serie di prove selezionatrici, che si estendono su parecchie generazioni. I risultati di uno qualsiasi di questi procedimenti possono evidenziare la necessità di un'ulteriore manipolazione genetica. Alla fine, una varietà sperimentale con buone caratteristiche deve essere coltivata sul campo, in un'estesa gamma di ambienti geografici e climatici, e le sue prestazioni devono essere analizzate sia sotto l'aspetto agricolo sia sotto quello economico. Dato che il processo sopradescritto è elaborato e si devono coltivare fino alla maturità molte generazioni di riso, la creazione di una nuova varietà richiede parecchie stagioni di crescita.

Le prime varietà nane migliorate di riso furono diffuse dall'IRRI nel 1966; esse trasformarono subito la risicoltura nelle Filippine e furono immediatamente adottate su vasta scala nelle pianure asiatiche. In particolare, una varietà, designata come IR 8, è diventata molto celebre. Essa ha la capacità di dare rese elevate, quando viene coltivata e concimata opportunamente, è insensibile al fotoperiodo e si adatta a una vasta gamma di condizioni di crescita. Inoltre, matura in 120 giorni invece che nei 160 necessari per molti tipi non migliorati. In alcune regioni, a causa della maturazione più precoce si possono ottenere due raccolti l'anno.

Varietà più recenti sviluppate dall'IRRI e da numerosi programmi di ricerca nazionali possiedono altre caratteristiche desiderabili. Nella storia di questi programmi era emersa subito la preminente importanza della resistenza alle malattie: i campi dello stesso istituto erano stati decimati da virus che attaccano il riso. Alcune linee di recente acquisizione combinano la resistenza a parecchie malattie, batteriche, virali e fungine del riso, con la resistenza agli insetti che danneggiano direttamente le piante o agiscono come vettori dei virus. La scoperta del ceppo parentale resistente a questi agenti infestanti e a queste malattie richiede una selezione di massa su 10 000 o più varietà, seguita da un'ibridazione per incorporare i geni della resistenza in tipi migliorati. Sono state ottenute linee resistenti alla siccità e alle avverse condizioni del suolo. I programmi in corso adeguano le caratteristiche delle cariossidi ai gusti dei consumatori e tendono ad aumentare il contenuto proteico del seme. Infine, in alcune varietà, la stagione di crescita è stata ridotta a 100 giorni, il che, in alcune regioni irrigate, rende possibile ottenere tre raccolti nello stesso anno.

Quando venne stabilito il programma messicano di miglioramento del frumento, si diede anche inizio a un programma parallelo per aumentare le rese del granoturco. Questo cereale è molto diffuso in paesi dove esiste un'agricoltura di sussistenza come l'America Latina, l'Africa e alcune regioni dell'Asia. Le rese del granoturco sono sempre state tradizionalmente basse.

Fu proprio con il granoturco che i metodi di selezione vegetale del XX secolo ebbero successo per la prima volta nei paesi sviluppati e, in particolare, negli Stati Uniti. Il contributo più importante fu dato da un metodo per la produzione commerciale del granoturco ibrido, elaborato negli anni venti e trenta; nel 1950, nella regione cerealicola statunitense (*Corn Belt*), gli ibridi del granoturco erano già stati quasi universalmente adottati. Le rese aumentarono di circa cinque volte in meno di vent'anni.

Per gli agricoltori dei paesi in via di sviluppo, la coltivazione del granoturco ibrido non sembra di pratica attuazione.

VARIETÀ	STATURA	RESISTENZA ALLE MALATTIE				RESISTENZA AGLI INSETTI			STAGIONE DI CRESCITA
		BRUSONE (DA FUNGHI)	INARIDIMENTO (DA BATTERI)	NANISMO (DA VIRUS)	VIRUS TUNGRO	CICADELLA VERDE	CICADELLA BRUNA	PUNTERUOLO DEL FUSTO	
IR 8	NANA	MODERATAMENTE RESISTENTE	SUSCETTIBILE	SUSCETTIBILE	SUSCETTIBILE	RESISTENTE	SUSCETTIBILE	MODERATAMENTE SUSCETTIBILE	120 GIORNI
IR 20	NANA	MODERATAMENTE RESISTENTE	RESISTENTE	SUSCETTIBILE	RESISTENTE	RESISTENTE	SUSCETTIBILE	MODERATAMENTE RESISTENTE	120 GIORNI
IR 26	NANA	MODERATAMENTE RESISTENTE	RESISTENTE	MODERATAMENTE SUSCETTIBILE	RESISTENTE	RESISTENTE	RESISTENTE	MODERATAMENTE RESISTENTE	120 GIORNI
IR 28	NANA	RESISTENTE	RESISTENTE	RESISTENTE	RESISTENTE	RESISTENTE	RESISTENTE	MODERATAMENTE RESISTENTE	105 GIORNI

RESISTENTE
MODERATAMENTE RESISTENTE
MODERATAMENTE SUSCETTIBILE
SUSCETTIBILE

Le proprietà desiderabili, inserite nelle varietà di riso attraverso i programmi di miglioramento dell'IRRI e di altre istituzioni includono la bassa statura, che ha un effetto diretto sulla resa, la resistenza alle malattie e agli insetti infestanti, e una breve stagione di crescita. L'IR 8, una varietà messa in circolazione nel 1974, ha una resistenza ad ampio spettro contro le malattie e gli agenti infestanti e una stagione di crescita più breve di quella della maggior parte delle varietà tradizionali. A causa del rapido raggiungimento della maturazione, alcuni agricoltori riescono a ottenere due raccolti, o anche tre, in un anno. Altri caratteri che appartengono ad alcune o a tutte le nuove varietà di riso includono insensibilità al fotoperiodo e tolleranza a terreni poveri.

Gli ibridi coltivati sono quelli della generazione F_1 e tutte le piante di una data popolazione sono geneticamente uniformi. Una simile uniformità aumenta la vulnerabilità delle colture alle malattie e agli insetti, pericoli che nei paesi tropicali sono particolarmente seri. Il granoturco ibrido ha un altro svantaggio: per gli ibridi F_1 occorre produrre ogni anno nuova semente con un incrocio deliberato di linee mantenute accuratamente pure. I paesi in via di sviluppo mancano delle strutture per produrre le sementi o per distribuirle e i contadini, in un'agricoltura di sussistenza, possono non essere in grado di sostenere la spesa ricorrente per la semente. La pratica tradizionale, fin dai tempi del neolitico, è stata quella di risparmiare una porzione del raccolto per utilizzarla come semente per le successive colture.

I metodi per il miglioramento del granoturco sono diversi da quelli per il frumento o per il riso. Il granoturco possiede fiori maschili e femminili separati, contrapposti ai fiori bisessuali della massima parte dei cereali e in condizioni naturali, è quasi sempre soggetto a una impollinazione incrociata. Le linee che vengono deliberatamente incrociate diventano ben presto deboli e nane. Le varietà ibride prodotte negli Stati Uniti sono state realizzate esplicitamente per controbilanciare questa tendenza, ma il programma di incremento della produzione di granoturco nel Messico ha abbastanza trascurato la creazione di ibridi. Per contro, sono state sviluppate popolazioni di piante che sono di fatto, delle razze locali composte da individui molto migliorati. Le piante di una di queste popolazioni sono simili come aspetto e sono uniformi per alcune proprietà come la durata della stagione di crescita, mentre sono diverse geneticamente. Esse vengono coltivate e impollinate con metodi naturali per parecchie generazioni e, a ogni raccolto, si mettono da parte soltanto i semi delle piante migliori. In questo modo, aumenta gradatamente nella popolazione la frequenza di geni desiderabili, anche se è improbabile che un dato gene sia presente in ogni pianta. L'ibridazione deliberata è ancora un elemento fondamentale nei programmi di miglioramento, ma il suo scopo è solo quello di inserire nuovi caratteri nella popolazione eterogenea e non di creare una varietà pura.

Come nel caso del frumento e del riso, un primo obiettivo del programma di miglioramento del granoturco è stato la produzione di piante che potessero essere coltivate fitte e che potessero essere concimate senza pericolo di allettamento. Questo traguardo è stato raggiunto letteralmente spostando il centro di gravità della pianta: l'incrocio di piante tropicali, alte, con varietà nane ha prodotto piante più basse che portano sul culmo una pannocchia inserita più in basso. Le popolazioni migliorate hanno foglie più corte e queste rimangono erette. I geni che conferiscono resistenza alle malattie e agli insetti sono stati introdotti in alcune delle popolazioni migliori. Come risultato, è stato possibile aumentare la densità delle colture da 50 000 piante per ettaro a più di 100 000 piante per ettaro.

Per molti anni parve che non si potessero ottenere varietà di granoturco ampiamente adattabili. Per contro, erano state sviluppate popolazioni distinte per varie altitudini, latitudini e stagioni di crescita. Dal 1970 circa, però sono state create alcune popolazioni con un ambito di adattamento piuttosto ampio. Per esempio, la sensibilità al fotoperiodo è stata ridotta incrociando varietà selezionate da diverse latitudini. In alcuni casi, è anche stata realizzata una resistenza alle malattie ad ampio spettro.

I progressi nel miglioramento del granoturco non sono stati così rapidi come per il frumento e il riso, ma non sono stati trascurabili. La produttività nel Messico si è raddoppiata e la tecnologia sviluppata in questo paese è stata poi esportata in Africa e in Asia.

I risultati dei programmi delineati sopra devono essere considerati incoraggianti, ma si dovrebbe ricordare che essi riguardano soltanto tre colture e che hanno raggiunto solo limitate aree del mondo. Un continuo progresso si può realizzare solo attraverso una continua ricerca orientata verso un'eliminazione dei fattori che limitano la produttività.

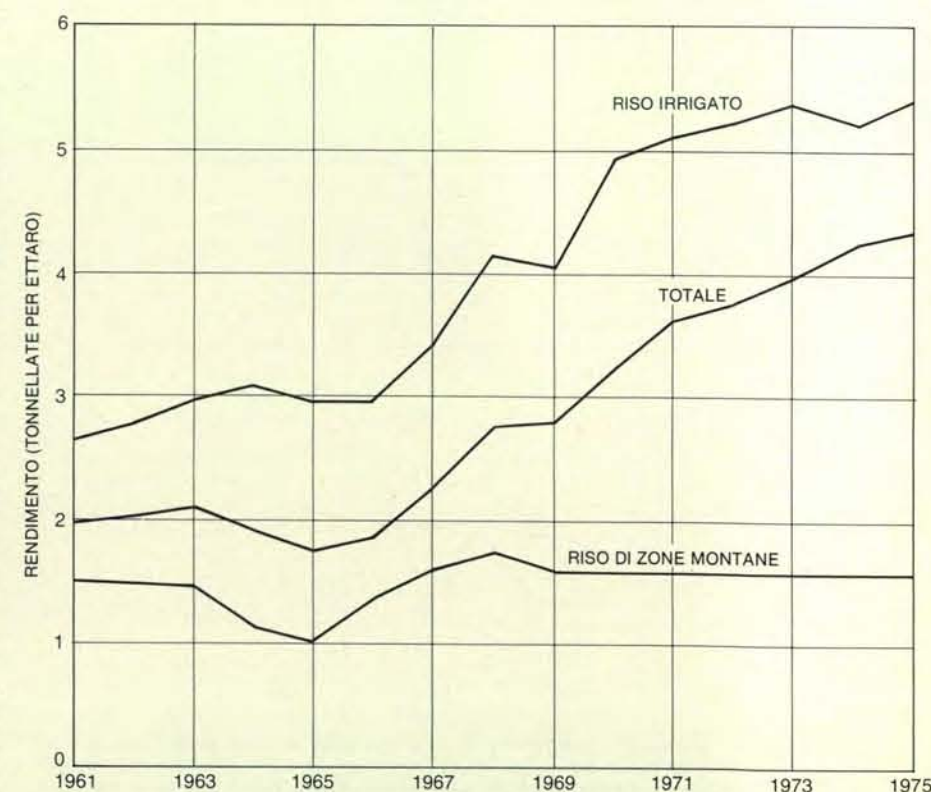
Ralph W. Cummings della Rockefeller Foundation ha pubblicato di recente una rassegna sullo stato della tecnologia delle coltivazioni di piante a uso alimentare nei paesi a basso reddito. Egli ha confrontato l'aumento annuale medio della produzione durante due periodi - dal 1961 al 1965 e dal 1971 al 1973 - per 15 generi di consumo fondamentali. I suoi risultati danno un'indicazione approssimativa di quello che è stato il contributo della ricerca alla produzione di alimenti a partire dalla seconda guerra mondiale. Dal suo studio emergono due conclusioni. Innanzitutto, una valutazione dello stato della ricerca sulle principali colture alimentari indica che, in quasi tutti i casi, la ricerca è «molto inadeguata» o «del tutto inadeguata». Egli ritiene che solo le aree specializzate irrigate, coltivate a riso e a frumento primaverile, siano state oggetto di una adeguata attenzione da parte dei ricercatori. In secondo luogo sette colture (manioca, patata, soia, vigna cinese, fava, granoturco e frumento) hanno avuto un incremento del 2,5 per cento e pertanto hanno uguagliato o superato il tasso d'incremento demografico. Però la maggior parte di questi aumenti è dovuta all'estensione delle zone coltivate. Anche se, in alcuni paesi, sono state notate delle eccezioni, per la massima parte gli aumenti di produzione hanno potuto essere attribuiti a rese più elevate - e quindi ai miglioramenti ottenuti dalla ricerca agraria - solo per due colture: il riso irrigato e il frumento irrigato. Le restanti colture prese in esame - sorgo, caiano (pisello dei tropici), fagioli da essiccare, ceci, arachidi, patate dolci e miglio - non hanno potuto, sia come produzione totale sia come produttività, tenere il passo con la crescita della popolazione.

Le prospettive per un miglioramento immediato nei programmi nazionali di ricerca agraria dei paesi in via di sviluppo non sono incoraggianti. I salari e i fondi per la ricerca sono inadeguati e sono poche le persone qualificate che desiderano far carriera nel campo dell'agricoltura. Molti di coloro che si avviano alla ricerca agraria passano poi ad altro, attratti da migliori salari, indebolendo così i gruppi di ricerca e nuocendo alla continuità dei programmi. Sfortunatamente, la crescente necessità di agronomi esperti nei paesi in via di sviluppo coincide con un declino nel numero di persone che seguono corsi superiori di agraria. Negli Stati Uniti, per esempio, stanno diventando rari, in contrapposizione ai genetisti, gli agronomi sovvenzionati pubblicamente. E solo in alcune istituzioni è possibile trovare eccellenti corsi di addestramento per laureati nel settore agrario. La ricerca specializzata in genetica contribuirà un giorno allo sviluppo di varietà e a una maggior produttività agricola, ma nel frattempo non si deve permettere che si deteriorino i metodi pratici tradizionali per il miglioramento delle piante.

Una nuova minaccia al buon adattamento della ricerca agraria è l'atteggiamento di coloro che, constatando i progressi compiuti nell'ultimo decennio, sono giunti alla convinzione che vi sia un eccesso di conoscenze utili e che tutto quello che rimane da fare sia fornire nuove varietà e pratiche culturali agli agricoltori. È avvenuto che coloro che hanno il compito di distribuire i fondi nei paesi in via di sviluppo hanno patrocinato un trasferimento dei finanziamenti dalla ricerca ai servizi di diffusione. Questo punto di vista non è realistico. Come abbiamo visto, la maggior parte delle coltivazioni nei paesi tropicali non si sono ancora avvicinate alle loro rese potenziali. Anche dopo che saranno stati raggiunti i traguardi della produttività, la ricerca dovrà continuare. Una varietà ormai stabilizzata di una pianta agraria vive in equilibrio dinamico con gli orga-

ISTITUTO	CAMPI DI RICERCA	ANNO DI FONDAZIONE	LOCALIZZAZIONE
INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE (IRRI)	RISO	1960	FILIPPINE
CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO (CIMMYT)	FRUMENTO, GRANOTURCO, ORZO, TRITICALE	1966	MESSICO
INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE (IITA)	GRANOTURCO, RISO, VIGNA CINESE, SOIA, FAGIOLO DI LIMA, RADICI E TUBERI VARI	1968	NIGERIA
CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL (CIAT)	FAGIOLO, MANIOCA, RISO, GRANOTURCO, FORAGGI, PRODUZIONE DI CARNE BOVINA	1969	COLOMBIA
CENTRO INTERNACIONAL DE LA PATATA (CIP)	PATATA	1972	PERÙ
INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS (ICRISAT)	SORGO, MIGLIO, CECI, CAIANO, ARACHIDE	1972	INDIA
INTERNATIONAL LABORATORY FOR RESEARCH ON ANIMAL DISEASES (ILRAD)	MALATTIE DEL BESTIAME	1973	KENYA
INTERNATIONAL LIVESTOCK CENTRE FOR AFRICA (ILCA)	BESTIAME AFRICANO	1974	ETIOPIA
INTERNATIONAL CENTRE FOR AGRICULTURAL RESEARCH IN DRY AREAS (ICARDA)	FRUMENTO, ORZO, LENTICCHIE, FAVE, SEMI OLEOSI, COTONE	(IN PROGETTO)	LIBANO

La ricerca agraria nei paesi in via di sviluppo è condotta da una rete di istituti internazionali in cooperazione con i programmi di ricerca nazionali. Ogni istituto si interessa di particolari coltivazioni (o animali d'allevamento) e qualcuno limita il proprio interesse a una particolare regione o regime climatico. Tutti gli istituti di ricerca agraria adottano un approccio interdisciplinare, in cui agronomi, specialisti di patologia vegetale, entomologi, economisti e esperti di altre discipline collaborano per migliorare la produttività delle colture sul campo. Dal 1971, gli istituti sono stati sovvenzionati in gran parte dal Gruppo consultivo per la ricerca agraria internazionale (CGIAR), che è un'associazione costituita da vari governi nazionali, da enti specializzati delle Nazioni Unite e da fondazioni filantropiche private.

La produzione di riso in Colombia è aumentata nettamente dopo l'introduzione, alla fine degli anni sessanta, di varietà nane migliorate. Queste erano state sviluppate congiuntamente dal Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) e dal programma di miglioramento del riso, realizzato dal Governo colombiano e dalla Federazione colombiana dei risicoltori. Le linee nane furono piantate per la prima volta nel 1968 e, nel 1974, esse erano già coltivate praticamente su tutto il territorio della Colombia, dove già veniva seminato il riso ed esistevano sistemi di irrigazione. Nel 1975 la produzione annua aveva superato di quasi un milione di tonnellate il tasso di crescita che vigeva prima che il programma di miglioramento entrasse in attività.

Il maggior rendimento del riso colombiano ha causato l'aumento della produzione che si è verificato solo in seguito all'adozione di varietà migliorate di riso. Le varietà coltivate nelle regioni montuose non irrigate non sono state incluse nel programma nazionale di miglioramento.

nismi che competono con essa e la depredano e non si può conservare indefinitamente la sua resistenza a essi. Nell'agricoltura tropicale, le pressioni dovute alle malattie, agli insetti e alle erbe infestanti sono intense e le nuove varietà sono utilizzabili solo per un periodo di tempo che corrisponde a circa la metà di quanto avviene nelle zone temperate. Pertanto gli agronomi devono darsi molto più da fare per conservarle.

Malgrado queste difficoltà, ritengo che i recenti sviluppi nella ricerca agraria ci permettano di essere ottimisti. Di gran lunga il fattore più importante è la creazione di una nuova rete di istituti agrari internazionali che lavorino in stretto collegamento con i programmi di ricerca nazionali. L'IRRI, fondato nel 1960 e sovvenzionato all'inizio della Fondazione Ford e dalla Fondazione Rockefeller, è stato il primo di essi. Il secondo è stato costituito in Messico nel 1966 quando i programmi per il miglioramento del frumento e del granoturco, cominciati negli anni quaranta, si consolidarono nell'ambito del CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). Anche il CIMMYT, all'inizio, fu sovvenzionato dalle fondazioni Ford e Rockefeller, che diedero il loro aiuto anche per fondare in Nigeria l'International Institute of Tropical Agriculture (IITA) e, in Colombia, il Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Nel 1971, il finanziamento di queste organizzazioni è stato assunto da un consorzio di donatori, organizzato come gruppo consultivo per la ricerca agraria internazionale (Consultive Group on International Agricultural Research o CGIAR). I garanti del CGIAR sono la Banca Mondiale, la FAO (Food and Agriculture Organization) e il Programma di sviluppo delle Nazioni Unite; ma parecchie nazioni e fondazioni filantropiche private ne sono anche membri. Il CGIAR ha fondato altri quattro istituti, tra cui due che si occupano di allevamento animale; è, inoltre, in programma un altro istituto di ricerca per le coltivazioni. Nel 1976 gli otto istituti già esistenti hanno ricevuto sovvenzioni da parte dei governi membri e dagli enti che fanno parte del CGIAR per un totale di 65 milioni di dollari.

I programmi di ricerca degli istituti internazionali sono organizzati in base a uno schema che è ormai noto. Gruppi di giovani ricercatori vengono fatti lavorare insieme su un problema comune. I loro obiettivi sono semplici e pratici: identificare i fattori che limitano più gravemente la resa e alterarli in modo tale da aumentare la produzione. Ciascun istituto ha una sfera limitata di interesse, confinato o a una particolare regione o a una particolare coltura o gruppo di colture affini. La nuova tecnologia viene valutata nelle aziende agrarie di molti paesi, assicurando così una sua ampia applicabilità e incoraggiando la partecipazione di enti agrari nazionali. Infine, attraverso il lavoro di routine degli istituti, gli scienziati che provengono dai programmi di ricerca nazionali sono addestrati a usare i metodi e i materiali che servono alla ricerca pratica sulle piante.

Il concetto di gruppo di ricerca interdisciplinare e multinazionale in agricoltura può costituire in definitiva il contributo più significativo degli istituti. La necessità di gruppi di studio sulle colture vegetali nelle zone tropicali umide è critica: in queste regioni le limitazioni biologiche alla produttività agraria sono diverse e gravi. I gruppi internazionali non solo hanno dato contributi diretti attraverso gli istituti, ma hanno anche dato nuovo vigore ad alcuni programmi di ricerca nazionali. Centinaia di ricercatori, che lavorano in stazioni sperimentali nei loro paesi dopo un addestramento di 6 mesi o un anno in uno degli istituti, formano un corpo di esperti orientati verso la produzione, attorno ai quali si sviluppano i programmi di ricerca nazionali. Essi valutano i risultati degli istituti nei loro paesi di origine, li modificano secondo le necessità e rappresentano un legame diretto tra gli istituti di ricerca e gli agricoltori.

I costi e gli utili del programma colombiano di miglioramento del riso giustificano le spese necessarie per la ricerca agraria. I costi della ricerca hanno portato a piccoli deficit fino al 1967, ma i maggiori raccolti ottenuti hanno ripagato l'intero programma pochi anni dopo l'introduzione di alcune varietà migliorate. Nel 1974, la produzione annua in più è stata valutata in 230 milioni di dollari, in confronto a una spesa per la ricerca di 340 000 dollari. La maggior parte degli utili è andata a favore dei consumatori sotto forma di prezzi più bassi per il riso. Il grafico si basa su uno studio del programma presentato da Grant M. Scobie e da Rafael Posada del CIAT.

I primi successi ottenuti attraverso la rivoluzione verde furono stimolanti perché dimostrarono l'enorme potenziale dell'agricoltura tropicale. Ci sono state successivamente altre prove delle possibilità fornite dalla tecnologia di trasformare sia la terra, sia la gente che vive lavorando la terra; una di esse riguardava la coltivazione di riso irrigato nell'America latina.

Le varietà di riso sviluppate dall'IRRI sono state ampiamente adottate in Asia, mentre richiedono ulteriori adattamenti prima di poter essere piantate in altre parti del mondo. Nel 1967, in un tentativo di estendere la nuova metodologia all'America Latina, un selezionatore di riso dell'IRRI venne inviato al CIAT in Colombia. Nel contempo, parecchi ricercatori colombiani vennero inviati all'IRRI nelle Filippine e altrove per un addestramento accademico e pratico sui vari aspetti della ricerca produttiva. Un ampio programma regionale di miglioramento venne stabilito congiuntamente dal CIAT e dal governo colombiano in collaborazione con la Federazione nazionale colombiana dei risicoltori. Un legame con i programmi di ricerca nazionali in altri paesi dell'America Latina fu stabilito addestrando più di 90 cittadini stranieri in Colombia, i quali poi ritornarono ai loro paesi d'origine per valutare i più recenti materiali e pratiche colturali per il miglioramento, nelle condizioni prevalenti nei rispettivi paesi.

La collaborazione di un istituto internazionale, di un programma di ricerca nazionale e di un'organizzazione rappresentante i produttori ha dato luogo allo sviluppo di progetti che sono stati provati direttamente nelle singole aziende agrarie. Con il programma realizzato in Colombia sono state prodotte parecchie nuove varietà nane e altre sono state elaborate in altri paesi a partire da materiale distribuito sempre dal progetto colombiano.

Il programma ha avuto successo non solo nello sviluppo di nuove varietà di riso caratterizzate da elevate rese potenziali, ma anche nell'introduzione di nuove varietà nel sistema agricolo nazionale e nell'ottenimento delle rese previste. In Colombia, le prime semine di riso migliorato furono effettuate nel 1968. Nel 1974, più del 99 per cento dell'area coltivata con il riso irrigato veniva utilizzato per una delle linee nane migliorate.

L'impatto della nuova tecnologia si misura facilmente. Le rese sono salite da meno di 3 tonnellate per ettaro a 5,4 tonnellate per ettaro, per cui ogni ettaro coltivato con le nuove varietà produce 2,5 tonnellate in più di cereale. La produzione totale è passata da 680 000 tonnellate nel 1966, cioè l'anno prima che fosse avviato il programma, a 1 632 000 tonnellate nel 1975. Quasi tutto l'incremento è stato attribuito a una resa migliore. Il valore economico del raccolto in più per il 1974 è stato di circa 450 milioni di dollari. Le varietà derivate dal progetto colombiano hanno avuto successo anche in Messico, nell'Ecuador, in Perù, in Venezuela e nell'America centrale. In tutta la regione il raccolto di cereali del 1974 aveva raggiunto 1,5 milioni di tonnellate.

Per molte colture non cerealicole il miglioramento rimane più una questione di potenzialità manifesta che non una vera realizzazione. Un esempio è dato dalla manioca, una coltura per la produzione di tuberi, nota negli Stati Uniti principalmente per il suo derivato granulato, la tapioca, mentre in molti paesi tropicali essa costituisce una delle voci principali della dieta. La manioca fu ampiamente trascurata fino a quando, di recente, il CIAT in Colombia e l'IITA in Nigeria decisero di migliorarla. Ha la possibilità di dare rese enormi, fino a 50 tonnellate per ettaro, e cresce bene anche in suoli relativamente poveri. Nella produzione effettiva, però, le rese sono generalmente inferiori alle 10 tonnellate per ettaro.

La tecnologia necessaria per migliorare la manioca si sta oggi rapidamente concretizzando. Gruppi addetti al miglioramento e provenienti dagli istituti internazionali, in collaborazione con i programmi nazionali, stanno sviluppando alcune varietà ad alta resa e le pratiche colturali che devono accompagnarle. Rese dalle 30 alle 40 tonnellate per ettaro sono state ottenute in un'ampia gamma di ambienti. È una regola basata sulla pratica che quando le prove su campo sperimentale danno da due a tre volte la media nazionale, si hanno buone probabilità di incrementare la produzione regionale. Un'ulteriore necessità è rappresentata da sistemi che riducano le perdite dovute all'immagazzinamento della radici appena raccolte. Quando anche questi dovessero essere disponibili, la produzione di manioca dovrebbe aumentare.

La recente trasformazione della coltura del riso irrigato in Colombia è un argomento di notevole peso a favore della ricerca agraria. In effetti, essa fa intravvedere come il miglior investimento che la comunità internazionale possa fare nei paesi in via di sviluppo è proprio nella ricerca agraria, finalizzata a incrementare la produttività di colture a scopo alimentare e altro. Fin dal 1967 la spesa annua per le ricerche sul riso e attività affini da parte del CIAT, del governo colombiano e della Federazione colombiana dei risicoltori non ha mai superato il milione di dollari. Nella sola Colombia e in un solo anno, il 1974, la produzione in più, risultante dall'introduzione della nuova tecnologia, è stata valutata in 230 milioni di dollari. Si tratta veramente di uno splendido risultato per qualsiasi investimento.

Il potenziamento dell'agricoltura nei paesi in via di sviluppo

I paesi poveri potranno raggiungere l'autosufficienza alimentare se la loro agricoltura verrà modernizzata e la loro economia ristrutturata con il trasferimento di risorse tecniche e finanziarie dalle nazioni ricche

di W. David Hopper

Gli alimenti necessari per il nutrimento delle popolazioni dei paesi poveri dovranno provenire dalle loro stesse terre, dalle loro risorse e dalle loro economie aziendali. La produzione alimentare in eccesso delle poche nazioni esportatrici può essere utilizzata quando si verificano cattive annate a causa dell'andamento stagionale sfavorevole o di altre calamità naturali o artificiali, ma non possiamo illuderci che il fabbisogno alimentare del mondo possa essere assicurato da abbondanti raccolti dei campi del Kansas, del Saskatchewan, dell'Argentina o del Nuovo Galles del Sud.

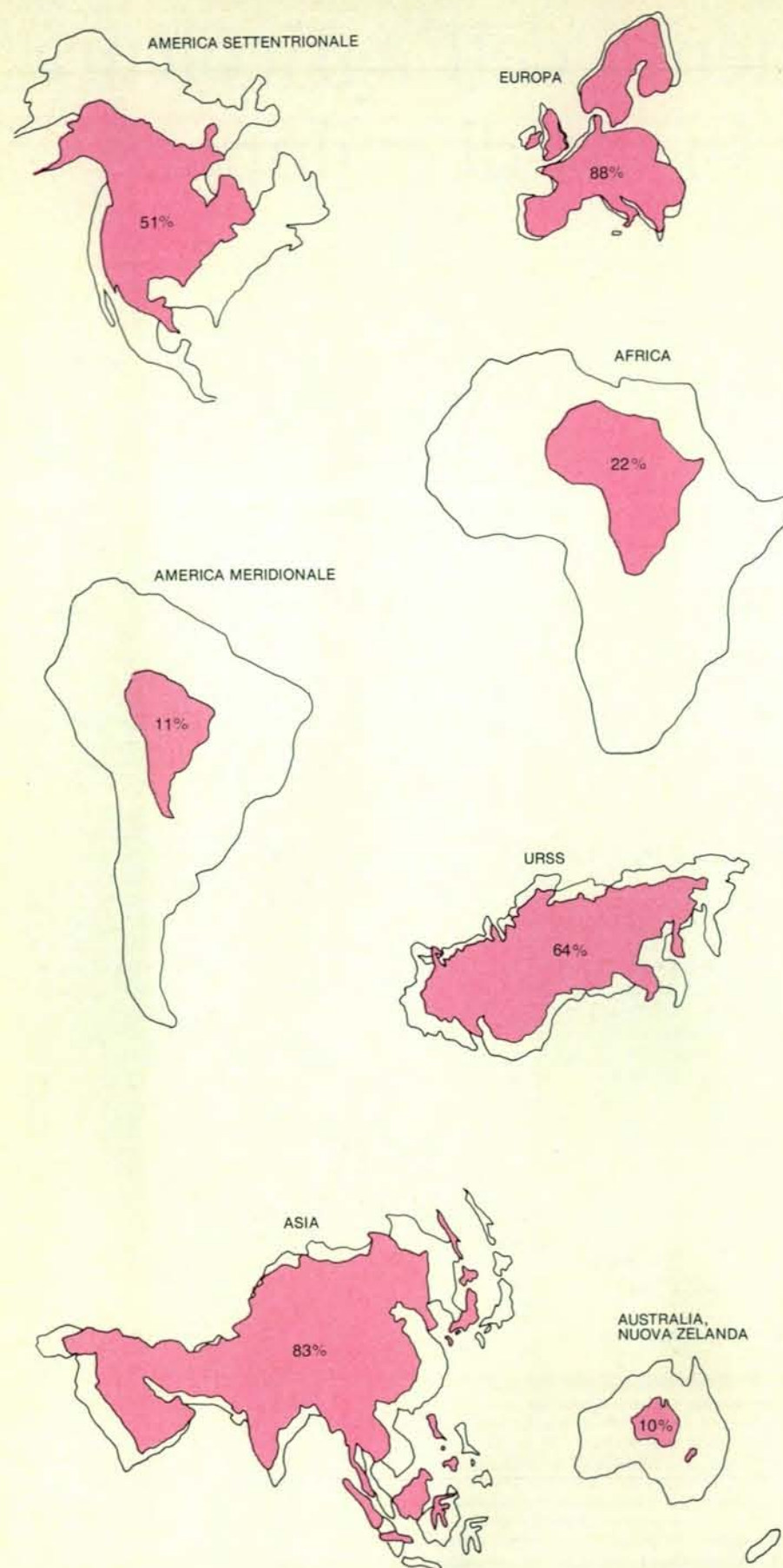
Pochissime delle nazioni in via di sviluppo dimostrano di aver capito che l'indipendenza alimentare è un affare interno e che se si dà la priorità allo sviluppo dell'agricoltura, esso può costituire la base per modernizzare l'intera economia. I paesi industriali, d'altra parte, non hanno pienamente riconosciuto che un simile sviluppo, da cui dipendono sia le scorte alimentari future, sia l'attenuarsi delle tensioni tra paesi ricchi e poveri, richiede un massiccio trasferimento di tecnologie e di capitali dai paesi industriali a quelli in via di sviluppo.

Altre alternative sono state, senza dubbio, avanzate. Una, conosciuta eufemisticamente come l'«analogia della scialuppa di salvataggio», si basa sulla convinzione che la Terra può mantenere solo un limitato numero di uomini e che quelli che sono in salvo a bordo non devono mettere a repentaglio la loro capacità di sopravvivenza tendendo una mano ai miliardi di altri uomini che sommergerebbero l'imbarcazione.

Un'altra versione di quest'etica, detta *triage* («selezione»), si richiama alla classificazione dei feriti in tre gruppi eseguita dall'aiutante di campo dopo la battaglia: quelli che hanno la possibilità di sopravvivere anche senza un aiuto immediato, quelli che moriranno in ogni caso e quelli che possono essere salvati se si presta loro un'assistenza immediata. Con questa logica alcuni paesi dovrebbero ricevere aiuti, mentre i paesi che si trovano in condizioni simili a quelle del Bangla Desh dovrebbero essere abbandonati. Questi due orientamenti mi sembrano tanto improponibili in pratica (i paesi più poveri non sono tanto facilmente disposti a morire come le persone che stanno per annegare o altri casi limite) quanto indecenti.

Una terza proposta, infinitamente più umana, si basa sul fatto che le popolazioni ricche consumano circa cinque volte la quantità di cereali che viene consumata dalle popolazioni povere, perché esse trasformano la maggior parte dei cereali in carne - una conversione antieconomica. Se la popolazione dell'America settentrionale riducesse la sua sovrabbondante dieta a circa un terzo, si renderebbero disponibili 78 milioni di tonnellate di granaglie per le popolazioni che ne abbisognano. Il guaio è che questo dividendo di 78 milioni di tonnellate si dovrebbe ridurre con la crescita della popolazione americana e presto andrebbe a danno delle popolazioni in aumento e dello standard in ascesa del consumo alimentare delle nazioni in via di sviluppo; questa forma di sistema economico distributivo a lungo andare non avrebbe altro effetto che distribuire la povertà. Inoltre, il semplice risparmio di alimenti non fornisce a nessuno il denaro per acquistare quegli alimenti. Infine, gli ostacoli politici ed economici interni che si incontrerebbero per ridurre la produzione americana di carne rendono un simile programma non solo inefficace, ma anche improbabile. È possibile attuare una giustizia distributiva nel mondo, ma questa dovrebbe presentarsi sotto forma di assistenza economica, di accordi sui prezzi dei prodotti di prima necessità e di riforme commerciali che dovrebbero dare alle nazioni povere migliori occasioni per il loro sviluppo.

Come ho accennato all'inizio, lo sviluppo dovrebbe essere in primo luogo agricolo, ciò che è difficile da far capire alla maggior parte dei governi dei paesi emergenti. Essi tendono a preferire lo sviluppo di moderne linee aeree nazionali e di impianti industriali inquinanti piuttosto che dedicarsi alla costruzione di strade di comunicazione che portano dalle fattorie ai mercati, all'ottenimento di grandi quantità di sementi di varietà di frumento a elevata produttività, a favorire il credito rurale alle cooperative e ad altre forme di incentivazione delle trasformazioni agricole. Eppure la maggior parte dei paesi in via di sviluppo possiedono risorse fisiche che li rendono più

L'immenso potenziale agricolo dei paesi in via di sviluppo che si estendono nelle regioni tropicali e subtropicali è messo in evidenza dall'immagine nella pagina a fronte ripresa da un satellite LANDSAT che mostra una parte del complesso irriguo della Gezira nel Sudan che copre un milione di ettari. (L'area mostrata da questa fotografia è più grande di circa il 50 per cento rispetto a quella delle altre fotografie di questo fascicolo scattate dai LANDSAT.) Gli impianti di irrigazione, localizzati nella fertile pianura argillosa situata tra i fiumi Nilo Bianco e Nilo Azzurro, appena a sud di Khartoum, originariamente furono sviluppati nel 1920 dal Sudan Plantation Syndicate, una società con fini speculativi gestita da inglesi che si dedicava principalmente alla coltivazione del cotone. Da quando gli impianti furono nazionalizzati più di 25 anni fa, è stata data maggiore importanza alle colture alimentari e all'agricoltura intensiva. Nel decennio 1960-1970 la parte di terreni coltivati annualmente è passata dal 47 al 62 per cento; su quasi la metà della superficie resa coltivabile è stato introdotto il frumento. In questa fotografia a colori falsati, ripresa il 7 dicembre 1975, le strisce di terra coltivate appaiono rosse mentre quelle incolte appaiono verdi. All'estremo sud del Sudan, le paludi formate dal Nilo Bianco costituiscono quella che è potenzialmente una delle più ricche regioni agricole del mondo, caratterizzata da terreno, luce solare e risorse d'acqua capaci di produrre enormi quantità di alimenti.

Uno dei metodi per incrementare la produzione alimentare mondiale è quello di estendere l'agricoltura alle terre arabili non ancora coltivate. I contorni in nero delimitano le più importanti superfici terrestri valutate in rapporto all'area delle terre potenzialmente arabili. Le zone in colore mostrano l'estensione coltivata, in rapporto a quella potenzialmente arabile, alla metà degli anni sessanta. Le cifre indicano l'area coltivata come percentuale dell'area potenzialmente arabile.

adatti per il progresso dell'agricoltura piuttosto che per qualsiasi altro tipo di sviluppo economico. Le regioni sottosviluppate si estendono in gran parte tra i tropici del Cancro e del Capricorno. È questa una fascia caratterizzata da temperature calde, da abbondanti precipitazioni (anche se spesso stagionali) e da una rilevante quantità di energia solare convertibile in energia chimica da conservare nei tessuti vegetali e animali.

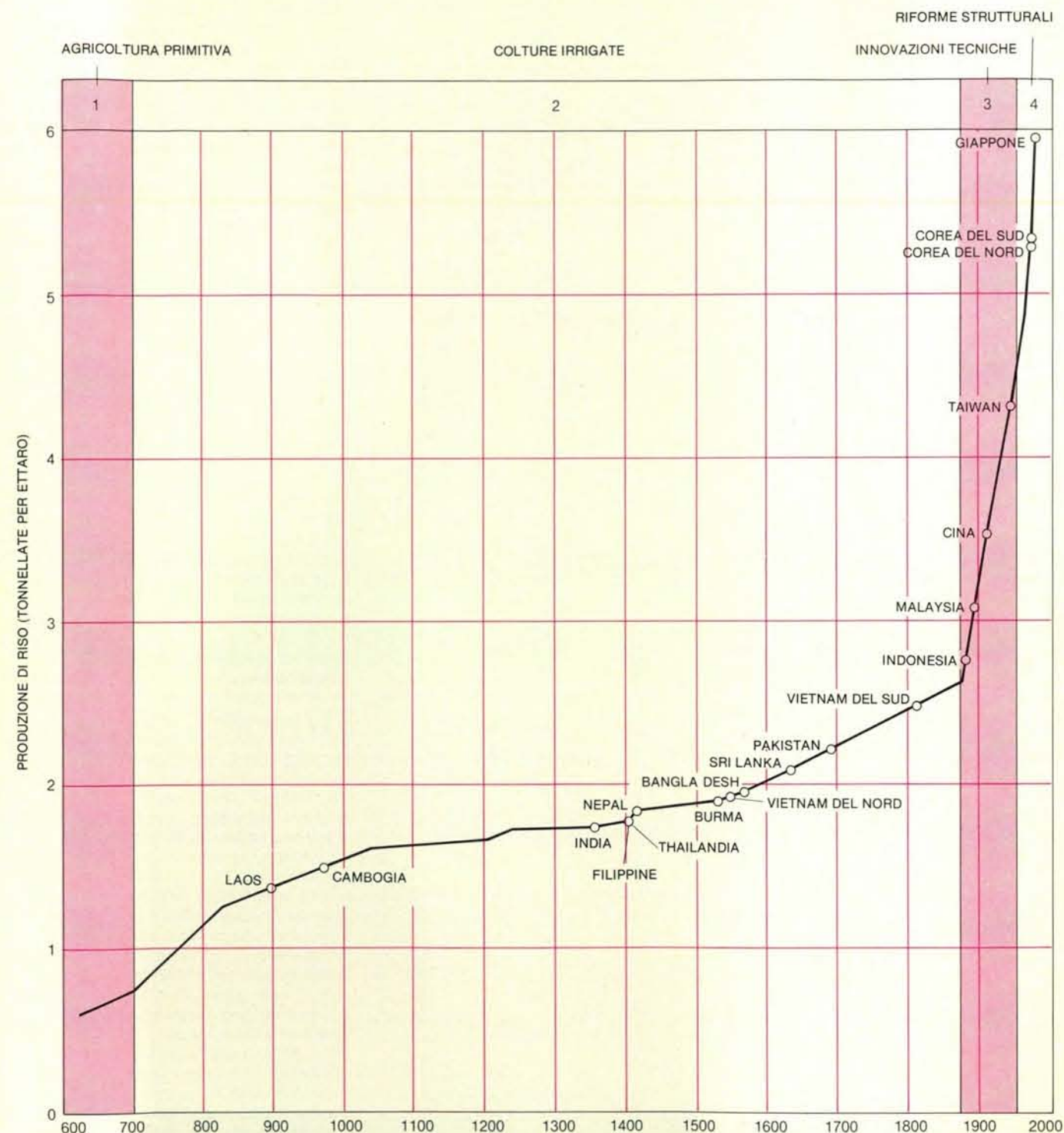
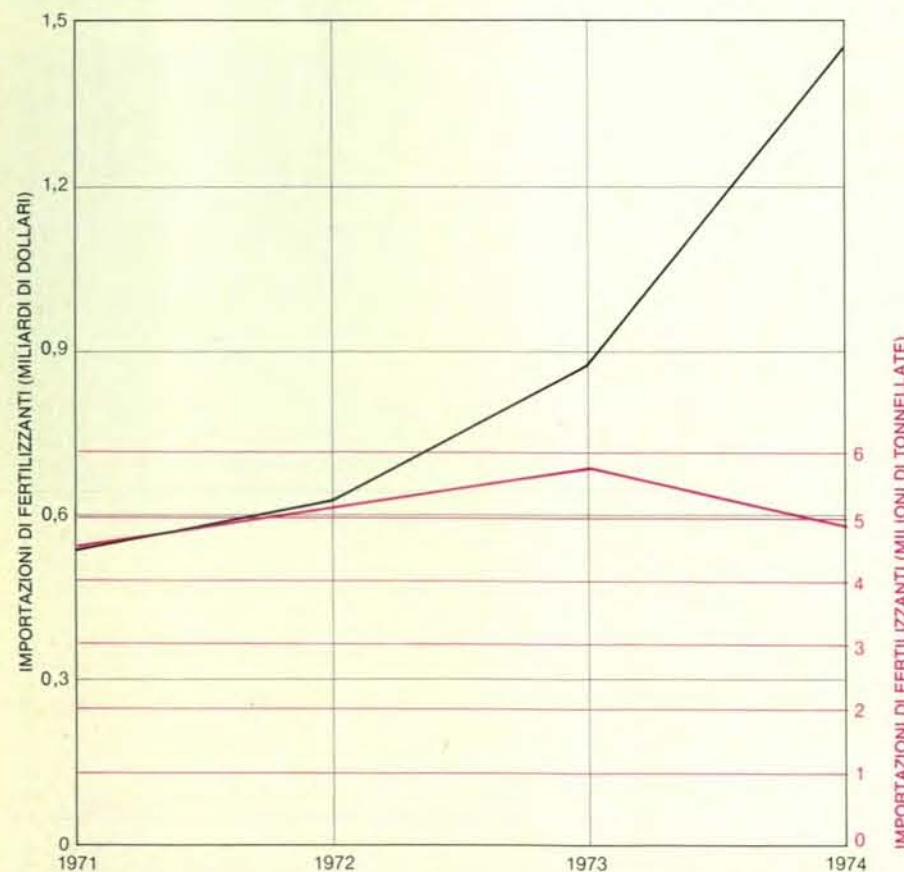
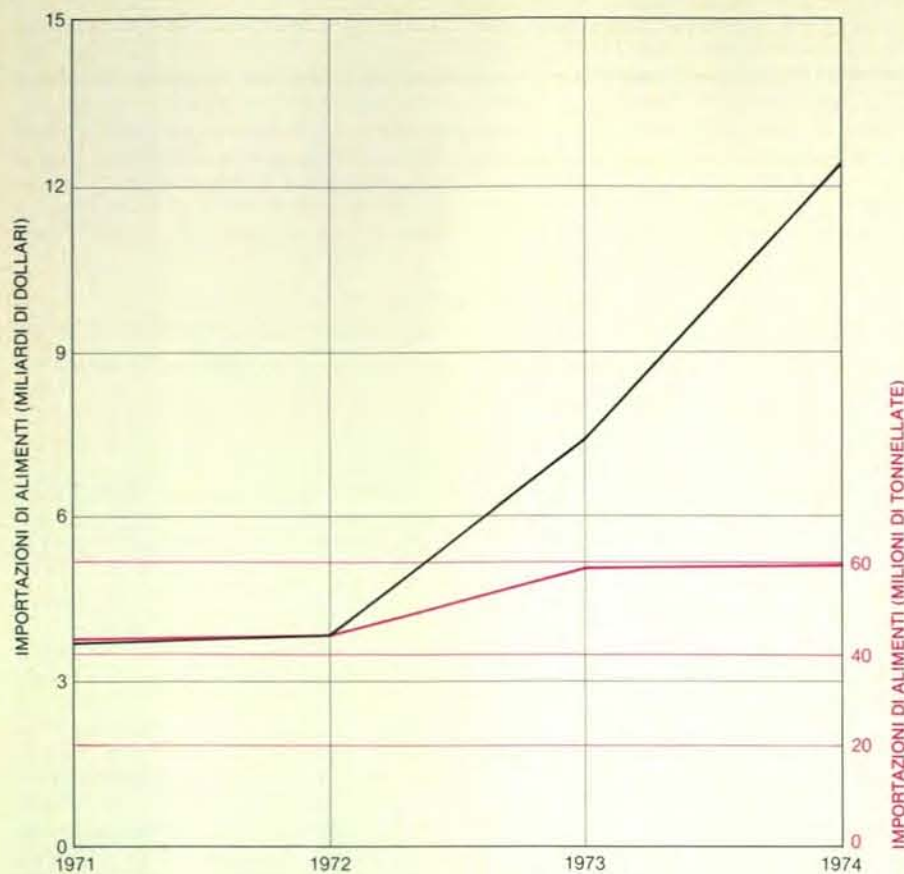
Attualmente le risorse tropicali e subtropicali dei paesi in via di sviluppo sono sfruttate principalmente con tecniche di coltivazione rimaste inalterate da secoli. Le produzioni per ettaro e per lavoratore agricolo sono molto basse (e in gran parte sono responsabili non solo della carenza alimentare mondiale, ma anche della povertà della maggior parte dei contadini del mondo). È ora chiaro, comunque, che nelle zone dove vengono introdotte le più recenti varietà e le più moderne tecniche di coltivazione, gli agricoltori, dai terreni a monocoltura, riescono a duplicare o triplicare i loro proventi rispetto a quelli tradizionalmente ricavabili; nei campi che si prestano a due o tre colture l'anno - cosa che è più facilmente attuabile nelle regioni tropicali e subtropicali - la produzione aumenta da quattro a otto volte rispetto a quella tradizionalmente ricavabile. Gli specialisti dello sviluppo agricolo sono ora dell'opinione che nuovi sistemi di coltivazione possono essere progettati per le diverse condizioni ambientali delle regioni tropicali e subtropicali, che sono le più adatte per un fortissimo incremento della produzione, una migliore utilizzazione della manodopera agricola nell'arco dell'anno e rappresentano una significativa occasione per il miglioramento economico e nutrizionale del contadino. Questo è il primo passo non solo per una nuova agricoltura dei paesi in via di sviluppo, ma anche per un miglioramento delle loro condizioni sanitarie.

L'importanza della «rivoluzione verde» non deriva tanto dalla sua influenza quantitativa sulla produzione alimentare, quanto da tutto ciò che è coinvolto nel processo di modernizzazione dell'agricoltura tradizionale. L'estesa e pronta adozione delle varietà di frumento e di riso caratterizzate da elevate capacità produttive hanno dimostrato che gli agricoltori tradizionali non sono lenti o ostinatamente resistenti ai cambiamenti. L'adozione in massa delle nuove tecniche di coltivazione ha avuto una lunga storia dove erano interessate colture da reddito; il mito che coloro che usavano tecnologie tradizionali di produzione sarebbero stati restii ai cambiamenti persisteva poiché la maggior parte della produzione alimentare dei paesi in via di sviluppo è tuttora destinata al consumo familiare dell'agricoltore stesso.

Tutto questo si è dimostrato errato. Entro 4 anni dalla prima ampia distribuzione di sementi di varietà di frumento altamente produttive nell'Asia meridionale quelle varietà occuparono praticamente

tutti i terreni adatti alla loro coltivazione. Con differenze di produttività dal 200 al 300 per cento rispetto alle varietà tradizionalmente adottate e con l'importante incentivo del prezzo dei cereali che rese estremamente redditizia la loro coltivazione, i contadini asiatici dimostrarono di essere così aperti alle innovazioni come in nessuna altra parte del mondo; il cliché dell'agricoltore tradizionale, lento nei cambiamenti e ostinatamente resistente al progresso, scomparve.

L'esperienza delle varietà di frumento e di riso a elevata produttività è stata importante per diversi aspetti. Era la prima volta che un gran numero di agricoltori faceva rapide innovazioni significative nei sistemi di produzione alimentare.

Era anche la prima volta che numerosi paesi in via di sviluppo ottenevano sostanziali incrementi produttivi di colture alimentari da terreni già coltivati con l'adozione di tecnologie non tradizionali derivate dalla ricerca scientifica; sino a quel momento l'aumento della produzione alimentare era venuto o dalla messa a coltura di nuove terre o da miglioramen-

Il secondo sistema per accrescere la produzione alimentare è quello di intensificare l'agricoltura delle aree già coltivate. Questo significa promuovere il passaggio dell'agricoltura dei paesi emergenti agli stadi superiori di sviluppo, ripercorrendo la progressione storica che è qui esemplificata con il caso del Giappone. Kunio Takase dell'Asian Development Bank ha messo in luce che in Giappone la produttività del riso è aumentata con il passaggio dell'agricoltura, dallo stadio tradizionale all'agricoltura scientifica, caratterizzato dall'avvento dell'irrigazione, e infine con il passaggio allo stadio delle trasformazioni strutturali. Come si vede chiaramente nel diagramma, la produttività del riso pone ancora nel secondo stadio la maggior parte dei paesi dell'Asia, nei quali meno del 50 per cento delle terre risicole sono coltivate.

L'inflazione ha reso più difficoltosa l'importazione dei prodotti alimentari e dei mezzi di produzione di cui necessitano i paesi in via di sviluppo. I diagrammi indicano il danaro (*curva in nero*) speso in quattro anni dai paesi in via di sviluppo per l'importazione di prodotti alimentari (*in alto*) e di fertilizzanti (*in basso*), insieme alla corrispondente quantità di alimenti e di fertilizzanti acquistati (*curva in colore*). Il diagramma in alto comprende la Cina e i paesi in via di sviluppo esportatori di petrolio; nel diagramma in basso questi paesi sono esclusi. I dati sono stati forniti dall'Overseas Development Council e provengono da pubblicazioni della FAO.

ti fondiari per mezzo dell'irrigazione. Infine, era la prima chiara dimostrazione che se le nuove tecniche di coltivazione fanno aumentare sensibilmente la produttività, se l'incremento di produzione può dare un profitto oltre che coprire il costo dei nuovi mezzi di produzione, e se gli agricoltori possono accedere ai mezzi di produzione (come sementi, fertilizzanti e insetticidi) e alle altre principali risorse (come impianti d'irrigazione e macchine agricole) di cui necessitano affinché possano efficacemente adottare i nuovi metodi, le innovazioni più massicce vengono attuate ben presto.

Successive ricerche hanno accertato che l'accesso ai mezzi di produzione e la prospettiva di profitti economici derivanti dai rinnovamenti costituiscono i requisiti essenziali. Le varietà a elevata produttività differiscono dai tipi genetici tradizionali per la maggiore richiesta di elementi nutritivi, in particolare dell'azoto, che è, generalmente, il principale fattore limitante nelle terre calde dei tropici. La disponibilità di fertilizzanti per l'agricoltore era perciò il punto critico per l'incoraggiamento alle innovazioni. Si rendeva, inoltre, indispensabile la disponibilità di una notevole quantità d'acqua per l'irrigazione. Le colture ad alta produttività utilizzano al massimo l'energia solare solo quando la loro massa fogliare è cospicua. Una popolazione vegetale a elevata densità assorbe (per la fotosintesi, la respirazione e la traspirazione) molta più acqua rispetto a quella necessaria alle rade masse fogliari delle colture non concimate. Gli agricoltori che potevano ricavare benefici dall'adozione delle tecnologie della «rivoluzione verde» erano soltanto quelli che potevano facilmente raggiungere i magazzini di fertilizzanti e quelli che potevano disporre di abbondante acqua dall'irrigazione o da regolari precipitazioni atmosferiche.

Dal punto di vista economico, le moderne tecniche di produzione alimentari richiedono un potere di acquisto, fattore che generalmente non sussiste nell'agricoltura tradizionale. Sebbene la maggior parte degli agricoltori tradizionali avesse avuto qualche approccio con l'economia in contanti, per molti di essi il rischio della coltivazione, e in particolare la vulnerabilità della famiglia contadina che contraeva debiti nel caso di fallimento di una coltura, costituì un freno nel processo innovativo. Ciò è particolarmente vero per gli agricoltori con piccole aziende e con scarsi capitali. Quando non vengono assistiti, costoro sono gli ultimi a cambiare le loro pratiche tradizionali; essi aspettano che il vicino, in più floride condizioni economiche provi i nuovi metodi e, in molte circostanze, evitano il rischio adottando solo in parte i nuovi metodi. Per essi e persino per molti dei loro benestanti vicini, l'adozione di nuove tecnologie agricole dipende non solo dagli effetti sulla produzione, dai possibili profitti e dalla disponibilità di scorte, ma anche dalla possibilità di disporre di crediti, di assicurazioni sul rischio e di consulenza agricola, la quale riduce la possibilità che involontariamente si trascurino alcune importanti componenti di ciò che spesso è un insieme di pratiche agricole interdipendenti. La necessità dell'impiego di denaro contante nella produzione alimentare implica l'accesso ai mercati dei prodotti, poiché ci deve essere necessariamente la possibilità di rifornirsi di denaro mediante la vendita della produzione in eccedenza per il pagamento dei mezzi di produzione. La funzionalità dei mercati dipende dalla rete stradale, dagli impianti di conservazione, dalle lavorazioni dei prodotti primi, dal sistema di diffusione delle informazioni di mercato, dalle disponibilità di credito e così via.

Le nuove varietà a taglia bassa di frumento e riso, insieme alla disponibilità di fertilizzanti e di acqua irrigua, hanno più che raddoppiato la produzione frumenticola dell'India tra il 1968 e il 1972, hanno dato al Pakistan una eccedenza di riso da esportare e hanno reso, entro breve tempo, le Filippine autosufficienti dal punto di vista alimentare. Le possibilità di ricavare un profitto date agli agricoltori dall'adozione di quelle varietà diedero luogo a una dinamica di sviluppo senza precedenti in quelle regioni adatte alla loro coltivazione. I principali risultati della transizione della produzione alimentare da basi tradizionali a basi scientifiche furono gli investimenti eseguiti da agricoltori privati in impianti d'irrigazione, in miglioramenti fondiari, in macchine moderne per la preparazione del terreno e in impianti più idonei di conservazione dei prodotti.

L'esperienza della «rivoluzione verde» ha impartito due principali lezioni: la prima è data dall'importanza dell'impatto delle tecnologie agricole moderne sulle aree fondiarie già in coltivazione, la cui applicazione è economicamente remunerativa per l'agricoltore ed è suscettibile di essere incoraggiata da idonei servizi di strutture extra-agricole. La seconda lezione è data dalla quasi inesistente interazione tra le istituzioni sociali e culturali di una società (come il diritto di proprietà) e i cambiamenti economici e tecnologici. La riforma del diritto di proprietà, per esempio, è stata per lungo tempo ritenuta la prima condizione necessaria per provocare l'aumento della produzione aziendale. È indiscusso che i grandi proprietari terrieri possono permettersi di tenere i loro terreni incolti, e spesso ciò si verifica, oppure non hanno interesse a massimizzare la produttività agricola. In tali casi, la ridistribuzione dei terreni o alcune forme di incentivazione o di penalizzazione economica sono ritenute necessarie allo scopo di sviluppare tutta la potenzialità produttiva dei terreni. Nelle regioni che sono già coltivate o almeno intaccate dalle tecniche tradizionali, comunque, sia le piccole che le grandi aziende possono senz'altro beneficiare dell'applicazione dei nuovi metodi. Si è inoltre dimostrato che, se opportunamente assistiti da servizi extra-agricoli, tutti coloro che si dedicano alla terra incrementeranno la loro produzione, senza alcuna distinzione in relazione alle diverse forme di conduzione aziendale. Per quanto riguarda la diffusione delle colture a taglia bassa, è da constatare che i piccoli agricoltori, che dispongono di poche risorse finanziarie, sono più lenti nell'adottare i nuovi metodi. Comunque, una volta dimostrata la convenienza economica delle nuove tecniche e nel presupposto che la disponibilità di crediti non costituisca un ostacolo, i piccoli agricoltori possono accettare le innovazioni quanto i grossi proprietari. Questo, tuttavia, non significa smentire l'esigenza che la riforma delle istituzioni rurali sia una necessità vitale in molti, se non nella maggior parte, dei paesi in via di sviluppo. Le sue giustificazioni, comunque, si basano principalmente sulla necessità di una migliore giustizia sociale, economica e politica; essa è solo marginalmente importante per l'incremento della produzione agricola.

In un recente studio, l'International Food Policy Research Institute stimava che i paesi in via di sviluppo dovrebbero incrementare, a partire dal 1976, la loro produzione cerealicola di circa il 4,25 per cento l'anno allo scopo di evitare di trovarsi nel 1985 in una situazione deficitaria. Questo tasso d'incremento è circa due volte e mezzo il tasso dell'1,69 per cento da essi registrato tra il 1967 e il 1974 e più di una volta e mezzo il tasso del 2,5 per cento pari alla media registrata negli ultimi 15 anni. Ci sono fondamentalmente due vie per raggiungere quel livello di sviluppo della produzione: la messa a coltura delle terre attualmente incolte o l'intensificazione della produttività delle terre già coltivate.

Le estese regioni tropicali che sono attualmente incolte o appena sfiorate da pratiche agricole costituiscono una enorme riserva di produzione futura. Il Sudan meridionale è, potenzialmente, una delle più ricche regioni agrarie del mondo, con caratteristiche del suolo, luce solare e risorse irrigue idonee per la produzione di enormi quantità di alimenti, forse in quantità pari all'attuale produzione mondiale! Attualmente le risorse irrigue non sono adeguatamente utilizzate: il corso superiore del Nilo bianco è bloccato a settentrione da altopiani e si riversa nelle campagne per formare estese paludi. Per sbloccare le potenzialità alimentari del Sudan meridionale sarebbero necessari non solo il drenaggio dei terreni paludosi ma anche la realizzazione di idonee infrastrutture; in tal modo gli allevatori nomadi di bestiame della regione potrebbero trasformarsi in agricoltori stabili. Il costo principale di una simile impresa sarebbe elevatissimo e il tempo richiesto coprirebbe intere generazioni. Tuttora il potenziale è reale e non intaccato, e dato il persistere della carenza alimentare mondiale, una simile riserva non può più essere trascurata.

Gli estesi *llanos* dell'America Latina, - le pianeggianti distese erbose a nord e a sud del bacino delle Amazzoni - sono regioni non sfruttate; con adeguati investimenti in infrastrutture rurali, essi potrebbero essere resi altamente produttivi, in particolare attraverso l'allevamento del bestiame. Altre aree con un enorme potenziale per l'incremento delle scorte alimentari dell'uomo sono le savane dell'Africa, le decine di milioni di ettari delle pianure meridionali semiumide del Sahara, - zone attualmente inospitali per le popolazioni umane a causa della presenza degli agenti dell'oncocercosi, una malattia che porta alla cecità completa - le estese regioni delle foreste tropicali e persino alcune delle regioni desertiche della penisola arabica, dell'Africa settentrionale e dell'Asia occidentale.

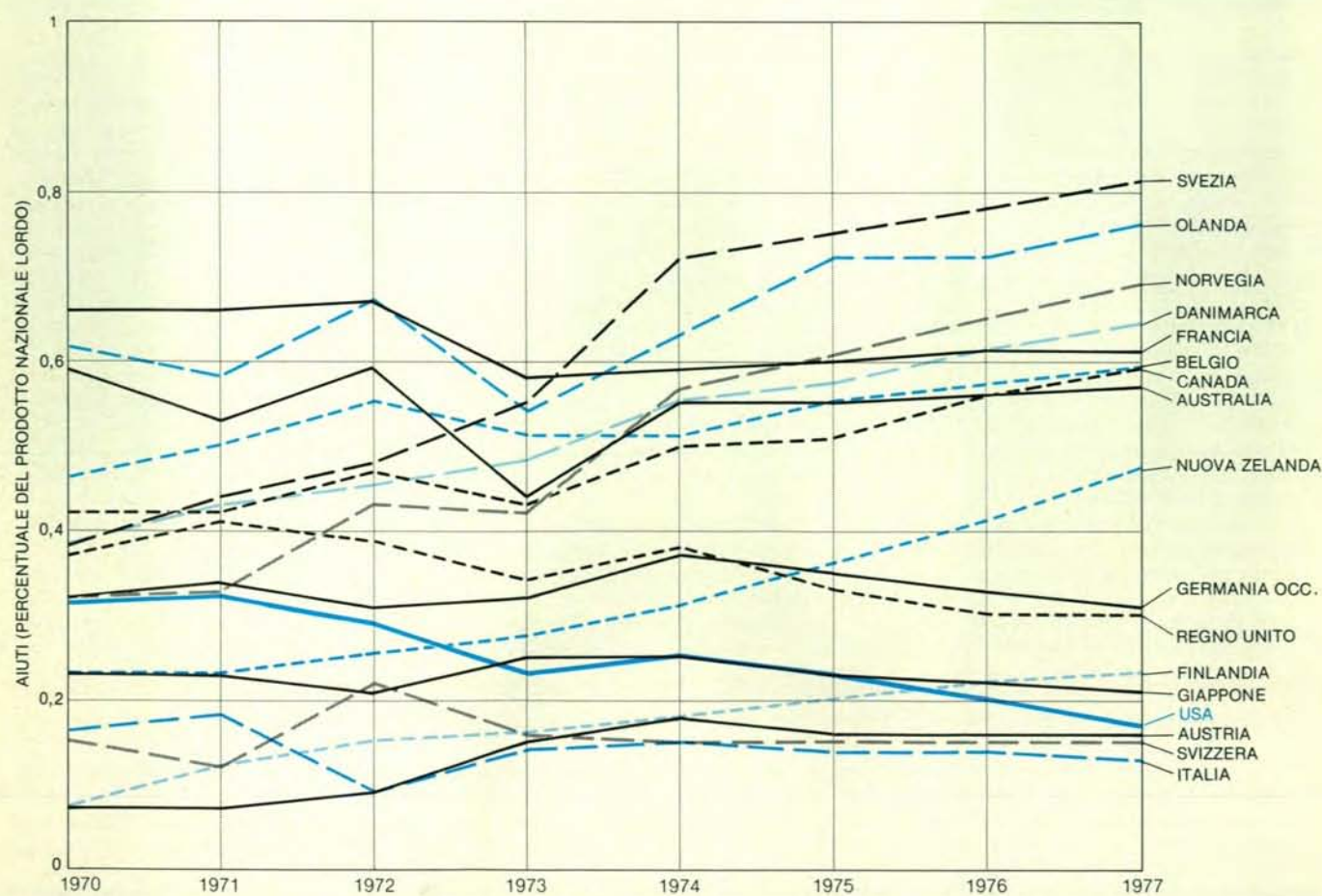
Prima che queste riserve di produzione alimentare futura possano venire intaccate è necessario che siano intraprese ricerche sulle tecniche di coltivazione e di sviluppo più idonee alle singole regioni ecologiche e che si mobiliti la volontà politica delle singole nazioni e della comunità mondiale per assicurare un sostenuto piano di sviluppo di quelle risorse. Il Sudan, per esempio, è estremamente povero, con un prodotto nazionale lordo approssimativamente uguale al reddito netto dell'International Business Machines Corporation. Con queste basi economiche i sudanesi da soli non possono prosciugare le paludi, imbrigliare le acque di precipitazione e impostare un'economia aziendale sulle loro enormi risorse agricole.

La seconda e molto più concreta possibilità di aumentare la produzione alimentare sta nell'intensificazione dei sistemi di coltivazione in quelle aree già coltivate o appena sfiorate dal progresso agricolo. La capacità produttiva di queste aree non può essere messa in dubbio: esse già forniscono quasi i due terzi del fabbisogno dell'umanità sebbene vengano sfruttate ancora con tecniche tradizionali e poco produttive. Se queste risorse fossero sfruttate con mezzi moderni, nessun bambino del mondo conoscerebbe la fame e nessun uomo avrebbe paura della fame. Per esempio, se l'acqua dei ghiacciai e delle piogge fosse convogliata e se gli agricoltori fossero assistiti da moderni servizi extra-agricoli, i 40 milioni di ettari della pianura formata dai fiumi Indo, Gange e Brahmaputra che si estendono nel Pakistan, nel Bangla Desh e nell'India potrebbero produrre più di 20 tonnellate di cereali per ettaro per anno, cioè circa l'80 per cento dell'attuale produzione cerealicola mondiale. Il costo effettivo di tali opere sarebbe elevato, forse molto di più di 50 miliardi di dollari per i prossimi 25 o 30 anni, ma questa cifra è uguale a circa il 17 per cento della spesa globale fatta per gli armamenti e il personale militare nel 1976. Questi bacini acquiferi, se valorizzati, coprirebbero da soli tutto il fabbisogno alimentare del mondo per i prossimi 14 anni, persino con una crescita annua della domanda del 4,25 per cento.

Un simile discorso può essere fatto per quasi tutte le altre aree agricole dei paesi

tropicali e subtropicali in via di sviluppo. Nel caso dell'Asia meridionale, comunque, ho già detto che c'è il vantaggio di un'economia rurale completamente sviluppata; occorrerebbero ora dei forti investimenti per trasformazioni strutturali in maniera tale che l'intero settore rurale possa essere adattato alle richieste di un'agricoltura altamente produttiva. Queste trasformazioni strutturali costituiscono l'ultimo passo di quello che è stato chiamato il quarto stadio di avanzamento dello sviluppo agricolo. Il primo lungo stadio è quello della coltivazione tradizionale, caratterizzato dall'adozione di attrezzi e di pratiche tradizionali e dall'utilizzazione dell'acqua piovana. Nel secondo stadio la produttività dei terreni è migliorata attraverso il drenaggio, l'irrigazione, l'aumento della fertilità dei terreni con una migliore incorporazione di materiali organici e dalla migliore messa a punto delle tecniche colturali attraverso l'adozione di una più idonea attrezzatura agricola. Il terzo stadio è caratterizzato da tecniche scientifiche che incrementano la produttività. Le coltivazioni di varietà a taglia bassa su terreni irrigui e con l'ausilio di concimi acquistati è uno sviluppo tipico di questo stadio; un altro è dato dall'introduzione di vaccini e di bagni disinfettanti per il controllo delle malattie del bestiame. Il quarto stadio è caratterizzato dalla trasformazione strutturale dell'economia rurale, la quale comporta la realizzazione di un'ampia gamma di istituzioni e infrastrutture necessarie per sostenere un'agricoltura di elevata produttività.

La storia dell'agricoltura giapponese costituisce l'esempio più chiaro di questo quarto stadio. In Giappone la coltivazione tradizionale del riso, che si basava sull'utilizzazione della sola acqua piovana, rendeva meno di una tonnellata per ettaro. L'introduzione e la diffusione dell'irrigazione tra il 600 a.C. e il 1850 portò la resa per ettaro a 2,5 tonnellate. Nel 1870 la restaurazione dei Meiji inaugurò un lungo periodo di innovazioni scientifiche, durante il quale si studiarono varietà più produttive, fertilizzanti e altri composti chimici, attrezzi agricoli e tecniche agronomiche più adatte, che furono dapprima sperimentate da una rete di stazioni territoriali di ricerca e quindi dimostrate e divulgate agli agricoltori. Tra la fine del diciannovesimo secolo e la seconda guerra mondiale la produzione per ettaro di riso passò da 2,5 a 4 tonnellate. Nel dopoguerra la nuova organizzazione del settore agricolo giapponese, il consolidamento della commercializzazione industriale e delle vie di comunicazione commerciale, l'affermazione delle organizzazioni di agricoltori e l'apertura di ulteriori scuole e istituti di agricoltura - in breve, la trasformazione strutturale in una economia moderna e complessa - innalzò la produttività del riso al presente livello di circa 6 tonnellate per ettaro, e molti osservatori credono che in un futuro non molto lontano il Giappone arriverà a 8 tonnellate per ettaro.

In antitesi con il Giappone, la maggior parte delle altre nazioni dell'Asia soltanto ora sono al passaggio dal primo al secondo stadio, dalla coltivazione tradizionale a una agricoltura basata sull'incremento della produttività dei terreni. L'estensione dell'irrigazione e del drenaggio, fattori essenziali per la coltivazione del riso di elevata resa produttiva, è laboriosamente perseguita dalle nazioni dell'Asia meridionale e sudorientale. Eccetto che nella Malaysia occidentale, dove l'irrigazione è molto sviluppata, la produttività del riso è ancora al di sotto delle 2 tonnellate per ettaro. In queste nazioni l'introduzione di tecniche scientifiche di produzione e delle varietà a taglia bassa a elevata produttività è stata principalmente limitata alle aree in cui

I paesi ricchi attualmente devolvono ufficialmente per l'assistenza allo sviluppo una minore percentuale del loro prodotto nazionale lordo (PNL) rispetto a quella della metà degli anni sessanta. Le curve mostrano gli aiuti dei paesi membri del Development Assistance Committee (Comitato per l'assistenza allo sviluppo) dell'Organization for Economic Co-operation and Development (Organizzazione per lo sviluppo e la cooperazione economica) in percentuale del loro PNL. L'obiettivo delle Nazioni Unite è di assicurare lo 0,7 per cento del PNL per l'assistenza ufficiale allo sviluppo. La World Bank ha estrapolato questi aiuti sino al 1977 sulla base degli stanziamenti di quei paesi.

l'irrigazione era possibile: circa il 30 per cento delle aree coltivabili dell'India e del Pakistan sono così controllate. Ciò dimostra che il passaggio con successo allo stadio delle innovazioni tecnologiche dei paesi asiatici in via di sviluppo dipende da un importante investimento preliminare nella produttività dei terreni. Cioè, il secondo stadio deve necessariamente precedere il terzo.

La maggior parte dei paesi africani è ancora nel primo stadio di agricoltura tradizionale. Le nazioni africane, le più povere del mondo, allo scopo di sbloccare la potenzialità delle loro terre devono, perciò, prepararsi a eseguire degli investimenti colossali nella produttività dei terreni, nella ricerca scientifica in agricoltura, nell'ampliamento dei servizi e nello sviluppo strutturale della loro economia agricola. Ampie aree dell'Africa sono e continueranno a essere principalmente devolute all'allevamento del bestiame. Lo sviluppo di posti di rifornimento d'acqua, di pascoli migliorati, di centri per il controllo delle malattie, di stabilimenti di lavorazione e confezione della carne e altre facilitazioni potrebbero enormemente elevare la possibilità dell'Africa di aumentare le scorte alimentari mondiali, e in modo particolare le scorte di proteine. Le possibilità potenziali dell'Africa sono indicate dagli esempi esistenti di sviluppo agricolo moderno. Alcune delle aree in cui hanno fatto investimenti gli agricoltori europei sono tra le più produttive del mondo. L'elevata produttività può essere attribuita ai forti capitali investiti in strade, magazzini di rifornimento, mercati, attrezzature aziendali, organizzazioni di divulgazione, di ricerca, di agricoltori, e in tutte quelle istituzioni economiche e politiche governative occorrenti per la buona funzionalità di tutti questi elementi.

Nell'America Latina, dove esistono numerose zone incolte o coltivate in modo tradizionale, i problemi non sono dissimili da quelli dell'Africa. Il recente impegno dell'agricoltura brasiliana, se sarà sostenuto, porterà presto questa nazione sui mercati di esportazione dei cereali. Se i piani di sviluppo del Venezuela e della Colombia incontreranno almeno un successo parziale, queste nazioni diventeranno contributori netti delle scorte alimentari mondiali. Il Cile, l'Argentina e il Perù hanno grandi possibilità potenziali di espandere la produzione alimentare, tuttora intatte a causa della politica economica e di sviluppo di quei governi per quelle aree.

Se la produzione delle singole colture delle aree già coltivate o trattate dalle tecniche tradizionali può essere incrementata di cinque o sei volte, come è successo in Giappone, o almeno da due a quattro, come è stato fatto nelle pianure centrali con precipitazioni limitate dell'America settentrionale, l'attuale produzione mondiale verrebbe a essere quasi raddoppiata. Se venisse iniziato lo sfruttamento delle regioni tropicali, idonee alla pluricoltura, la produzione globale potrebbe superare di 5 o 6 volte il livello attuale che è pari a circa 1,2 miliardi di tonnellate di cereali.

La coltivazione intensiva nelle regioni tropicali di più colture l'anno implica sistemi irrigui intensivi e lavorazioni con mezzi meccanici. Un apporto d'acqua supplementare nelle stagioni asciutte è la condizione essenziale per strappare alla terra due o tre raccolti l'anno. Il breve intervallo di tempo tra le diverse colture richiede l'esecuzione tempestiva delle lavorazioni del terreno e una attenta programmazione di tutte le operazioni agricole, ciò che può essere eseguito solo con potenti attrezzature moderne. I risultati sono sorprendenti. Il prodotto di una singola coltura può essere triplicato nell'arco di un anno se si abbrevia il periodo di semina e se vengono adottate varietà a maturazione precoce. Se nella rotazione vengono introdotte delle colture a rapido sviluppo in modo che esse possano intercalarsi tra una coltura principale e l'altra, la produttività dei terreni può essere aumentata di un altro 50-60 per cento. L'effetto combinato - miglioramento della produttività delle singole colture in ciascun intervallo di una rotazione con più colture - ha portato la produzione totale per ettaro da meno di 2 tonnellate nei terreni coltivati con una singola coltura per anno a più di 20 tonnellate. Tali risultati sono stati raggiunti su appezzamenti sperimentali controllati attentamente; gli agricoltori ordinari, opportunamente assistiti, potrebbero attendersi un incremento da 5 a 7 volte il loro prodotto attuale. Se si considera il mondo agricolo tropicale e la tecnologia attualmente disponibile o disponibile nel prossimo futuro, non ci dovrebbe essere nessun fondamento per essere pessimisti circa la potenzialità latente della Terra di nutrire la sua crescente popolazione ancora per un lungo periodo. Il problema è se questa potenzialità latente verrà utilizzata a beneficio dell'uomo.

La necessità di accelerare lo sviluppo agricolo sussiste, ma ancora non sono state intraprese le opportune azioni politiche. Parte della responsabilità può essere addossata agli stessi paesi emergenti. Lo sviluppo agricolo è un'impresa costosa, ma molto spesso è stata data la priorità ad altre più attraenti forme di modernizzazione il cui costo ha gravato sulle scarse risorse finanziarie di questi paesi. Lo sviluppo rurale è anche uno sforzo innovativo politico. Agli abitanti delle città sono dedicate più attenzioni, e le loro richieste sono più urgenti e visibili rispetto a quelle della tradizionale gente di campagna. Mantenere bassi i prezzi di mercato dei prodotti agricoli per soddisfare le richieste dei consumatori delle città porta spesso ad azioni politiche che distruggono gli incentivi economici atti a modernizzare le aziende. I paesi ricchi, inoltre, offrono sempre prodotti alimentari a condizioni negoziate facilmente. La generosità alimentare dei paesi industriali, vuoi nel proprio interesse (disponendo di eccedenze alimentari), vuoi con una forma speciosa di giustizia distributiva, ha probabilmente insidiato la vitalità dello sviluppo agricolo del mondo in via di sviluppo più di ogni altro singolo fattore. Gli aiuti alimentari non solo hanno indebolito le azioni politiche dirette allo sviluppo dell'agricoltura ma, aumentando la produzione nazionale di cereali da esportare, hanno inoltre mantenuto i prezzi locali a un livello tale da annullare gli incentivi economici degli agricoltori indigeni. In ultima analisi, i paesi ricchi, rendendo disponibili a buon mercato le loro eccedenze alimentari ai paesi in via di sviluppo, hanno rafforzato la tendenza di quei paesi a trascurare il settore agricolo; è più facile col loro bilancio nazionale coltivare i campi degli Stati Uniti e del Canada.

Tra i più grandi e popolati paesi in via di sviluppo solo la Cina sembra che abbia portato la propria agricoltura a un livello tale da soddisfare la domanda interna di prodotti alimentari. La Cina importa frumento ed esporta riso; il pareggio con le importazioni è stato raggiunto recentemente, ma dal 1970 circa ha raggiunto l'autosufficienza alimentare. È difficile disporre di dati cinesi da fonti autorevoli, ma si ritiene che la produzione agricola cinese sia aumentata di un tasso annuale del 3,4 per cento tra il 1960 e il 1974. Le stime del tasso annuale di incremento della popolazione cinese sono ugualmente imprecise e incomplete, ma sembra che sia tra l'1,5 e il 2 per cento con tendenza verso la diminuzione. Se questi dati sono attendibili, salvo casi imprevisti, le prospettive della situazione alimentare cinese sono buone.

La Cina ha realizzato il suo sviluppo agricolo mobilitando e disciplinando la manodopera agricola. Il ruolo dei quadri politici nel fornire i dirigenti e il controllo sociale alle strutture decentrate è ben documentato. Incentivi personali, incarichi di lavoro e applicazione severa della disciplina sociale moltiplicano l'efficacia dei metodi tradizionali di lavoro intensivo. I cinesi, inoltre, hanno dato ampio rilievo all'impiego delle tecnologie moderne, e questo aumenterà notevolmente nel futuro non appena sarà realizzato il piano per l'incremento delle capacità di fertilizzazione dei terreni.

L'esperienza cinese si basa sulla filosofia maoista, e cioè che la via per il comunismo in Cina passa per le sue masse rurali e non attraverso lo sviluppo dell'industria pesante come nel modello russo. La Cina, al contrario della maggior parte degli altri paesi in via di sviluppo, ha dato maggior risalto allo sviluppo delle trasformazioni dell'agricoltura tradizionale. Se i metodi cinesi di realizzare le trasformazioni siano applicabili ad altre società o ad altre culture è una questione discutibile; le caratteristiche peculiari della cultura cinese possono essere più importanti per il progresso rurale di qualsiasi altra particolare tecnica volta a promuovere cambiamenti sociali e politici. Altri paesi, come la Tanzania, stanno sperimentando forme di sviluppo sociale adattando alle proprie caratteristiche il modello cinese. È presto per dare un giudizio, ma essi vanno osservati per imparare dalla loro esperienza.

A parte gli aiuti alimentari, la testimonianza delle nazioni sviluppate non è migliore di quella della maggior parte dei paesi in via di sviluppo. I paesi ricchi hanno devoluto percentuali sempre minori del loro prodotto nazionale lordo per l'assistenza ufficiale allo sviluppo delle nazioni emergenti. Una percentuale inadeguata di questi aiuti sono destinati all'agricoltura o ad altri obiettivi rurali: nel 1974 furono circa il 23 per cento, o poco più di 2,6 miliardi di dollari, un ammontare di molto inferiore al fabbisogno. Inoltre, una parte rilevante di questa somma riguarda la cosiddetta assistenza tecnica, vale a dire il pagamento degli stipendi ai propri connazionali che lavorano nei paesi in via di sviluppo. E ciò non significa fornire capitali, che è l'elemento essenziale di cui abbisognano prima di tutto le nazioni povere.

Alla World Food Conference (Conferenza mondiale per l'alimentazione) tenutasi nel 1974, si indicò in 5 miliardi di dollari all'anno, come stima prudente, la cifra occorrente nei prossimi 20-25 anni ai paesi in via di sviluppo per investimenti nella produzione alimentare allo scopo di raggiungere scorte alimentari annuali sufficienti. Con l'obiettivo di mobilitare queste risorse, la Conferenza chiese l'istituzione di tre nuovi organismi internazionali: il World Food Council (Consiglio mondiale per l'alimentazione), il Consultative Group in Food Production and Investment (Gruppo consulente per l'investimento e la produzione alimentare) e l'International Fund for Agricultural Development (IFAD, Fondo internazionale per lo sviluppo dell'agricoltura). Dalla Conferenza del 1974 sino a oggi è stato fatto qualche progresso. Il Consiglio, un organismo costituito dai rappresentanti dei ministeri dell'agricoltura di 36 nazioni, si è riunito due volte per una rassegna dei tentativi svolti per rendere effettivo lo sviluppo globale dell'agricoltura e il potenziale di produzione alimentare. Il Gruppo consulente è impegnato nel coordinamento degli investimenti in agricoltura in tutto il mondo. L'IFAD era formalmente concorde in giugno, con una sottoscrizione iniziale, vicina a 1 miliardo di dollari dei paesi industriali occidentali e dell'Organization of Petroleum Exporting Countries (OPEC, Organizzazione dei paesi esportatori di petrolio).

Quest'anno i paesi arabi hanno istituito l'Arab Authority for Agricultural Investment and Development (Organizzazione araba per lo sviluppo e l'investimento in agricoltura) con un capitale iniziale di 525 milioni di dollari e un piano d'investimento per 6 anni di 2,8 miliardi di dollari per lo sviluppo rurale e le produzioni alimentari del Medio Oriente, con particolare attenzione allo sviluppo delle risorse del Sudan meridionale. Le varie agenzie della World Bank hanno dato una priorità crescente allo sviluppo agricolo e rurale, raddoppiando nel 1975 il loro contributo rispetto a quello degli anni precedenti.

Il capitale devoluto in infrastrutture e tecnologie agricole risulta sempre bene investito, anche in sede di bilancio finale consuntivo. Un ottimo esempio è dato dall'irrigazione. Un investimento a lungo termine per la sicurezza alimentare deve basarsi sullo sviluppo delle risorse idriche e sull'ampia diffusione delle moderne tecniche d'irrigazione. La migliore dimostrazione si ha in Israele, dove la produzione agricola è aumentata di 8 volte negli ultimi 25 anni, soprattutto attraverso l'efficiente utilizzazione dell'acqua. Lo sviluppo moderno delle risorse idriche e i lavori complementari di drenaggio e d'irrigazione richiedono investimenti intensivi e costosi. Una recente indagine del Ministero francese della cooperazione ha rilevato che persino i fiumi e le acque sotterranee della regione semiarida del Sahel in Africa, dove si sono verificate recentemente carestie e siccità devastanti, potrebbero essere utilizzati nei prossimi 75 anni per rifornire di acqua irrigua quasi 2,5 milioni di ettari con una spesa, probabilmente in eccesso, di 25 000 dollari per ettaro. Il profitto di un investimento simile è difficile da valutare, ma una stima prudente sarebbe di 10 tonnellate di cereali per ettaro per anno, o un reddito di circa 1500 dollari per ettaro: un interesse lordo del 6 per cento. Questo è il reddito minimo ricavabile, poiché è probabile che i terreni di quel valore potrebbero essere destinati a colture economicamente più redditizie di quelle dei cereali.

L'interrogativo maggiore per l'umanità, comunque, non dovrebbe riguardare il possibile profitto derivante dagli investimenti, ma piuttosto, il costo a lunga scadenza del non iniziare ora un programma di investimenti per assicurare le scorte alimentari future dell'uomo. Lo sviluppo delle risorse irrigue e molti altri elementi della modernizzazione richiedono un lungo periodo prima che diano benefici. Purtroppo i detentori del potere politico dei paesi ricchi e poveri non guardano alle necessità future; essi si occupano dei problemi immediati. Le scorte alimentari future non dipendono dalla somministrazione di una maggiore quantità di fertilizzanti ai campi esistenti per quest'anno o per l'anno prossimo, ma dall'impegno comune dei paesi sviluppati e di quelli in via di sviluppo per il costoso potenziamento a lungo termine delle risorse agricole intatte nel mondo.

È importante riconoscere che il problema dell'alimentazione mondiale non è dovuto ad alcuna limitazione fisica della produzione potenziale. Le limitazioni all'abbondanza sono da ricercare nelle strutture sociali e politiche delle nazioni e nelle reciproche relazioni economiche. Le risorse alimentari globali non sfruttate sono là, tra il Tropico del Cancro e il Tropico del Capricorno. La buona amministrazione di quelle risorse dipende dalla volontà e dall'azione dell'uomo.

Le dimensioni della fame umana

Nonostante sia difficile accertare con esattezza il numero delle persone denutrite o malnutrite, pare che ammontino a circa un ottavo della popolazione mondiale e vivano soprattutto in Asia e in Africa

di Jean Mayer

Le carestie, per tremende e rovinose che siano, si possono combattere direttamente. Una carestia si presenta in un'area ben definibile e ha una durata circoscritta nel tempo; fin tanto che da qualche parte sono disponibili derrate alimentari, gli enti pubblici di assistenza possono cercare di far fronte alla crisi. La malnutrizione, d'altro canto, affligge molte più persone di quanto non possa fare una carestia, ma è più difficile da definire e da combattere. Solo chi ha una conoscenza professionale delle malattie dovute all'alimentazione può diagnosticare con esattezza la malnutrizione e valutarne la gravità. La malnutrizione è una condizione cronica che a molti osservatori sembra peggiorare costantemente in certe zone. In una forma o nell'altra essa affligge le popolazioni umane in tutto il mondo, e la sua cura comporta non la mobilitazione, adatta per combattere una crisi, ma piani a lungo termine intesi a impedire una crisi: piani che incidano sulle politiche economiche e sociali oltre che su quelle alimentari e agricole. Sullo sfondo c'è sempre la preoccupazione che una crescita troppo rapida della popolazione, di cui la produzione alimentare non riesca a tenere il passo, dia origine a gravi carestie che non sarà possibile combattere.

Le statistiche, con cui il pubblico viene bombardato, non sono di molto aiuto. Che cosa deve pensare un profano di fronte all'affermazione che un miliardo di persone ha sofferto la fame l'anno scorso, che dieci milioni di bambini di tutto il mondo sono così gravemente malnutriti da essere in pericolo di perdere la vita, che 400 milioni di persone vivono sull'orlo della morte per inedia, che 12000 persone muoiono di fame ogni giorno e che nella sola India un milione di bambini muore ogni anno a causa della malnutrizione? Se si vuole arrivare a tenere sotto controllo il problema dell'alimentazione nel mondo, e a mio parere la cosa si può fare, bisogna innanzitutto tracciare dei confini concettuali intorno al problema stesso e collocarlo in una cornice temporale.

Per prima cosa, quindi, che cos'è precisamente la fame cronica della malnutrizione, e qual è la sua diffusione? Alla prima parte della domanda si può rispondere con sicurezza; la seconda invece, nonostante le statistiche citate nel paragrafo precedente, è una questione di congetture, sia pure basate su un certo numero di informazioni.

La malnutrizione può manifestarsi in quattro modi diversi. Una persona può semplicemente non avere abbastanza cibo, e allora si ha la denutrizione. La sua dieta può mancare di una o più sostanze nutritive essenziali, il che dà origine a malattie da carenza, quali la pellagra, lo scorbuto, il rachitismo e l'anemia gravidica dovuta a insufficienza di acido folico. Oppure può avere una malattia di origine genetica o ambientale, che le impedisce di digerire in maniera adeguata il cibo o di assimilarne alcuni costituenti, e questa è malnutrizione secondaria. La persona infine può immettere troppe calorie nel proprio organismo o consumare in eccesso una o più componenti di una dieta ragionevole; questo stato è la supernutrizione. In questo senso la malnutrizione è una malattia delle persone in buone condizioni economiche, sia nelle nazioni ricche sia in quelle povere. In paesi come gli USA, le diete con un alto contenuto di calorie, grassi saturi, sale e zucchero, povere di frutta e verdura e distorte in direzione di cibi molto elaborati, contribuiscono all'elevata incidenza dell'obesità, del diabete, dell'ipertensione e dell'arteriosclerosi e alle carenze marginali di certi minerali e di certe vitamine del gruppo B. Alcune diete dimagranti, che escludono intere categorie di alimenti utili, sono esempi autolesionistici delle prime due cause della malnutrizione. Le malattie alimentari dei paesi ricchi non sono, ovviamente, il tema di questo articolo. Nelle aree in cui le disponibilità alimentari sono limitate, le prime tre cause della malnutrizione si trovano spesso combinate fra loro.

Nei bambini un'insufficienza cronica di calorie provoca svogliatezza, atrofia muscolare e ritardo nella crescita. Negli adulti conduce a una perdita di peso e a una ridotta inclinazione e capacità nei confronti di qualsiasi attività. Le persone denutrite di tutte le età sono più vulnerabili alle infezioni e ad altre malattie e guariscono più lentamente e con maggiore difficoltà. I bambini con un'insufficienza cronica di proteine crescono più lentamente e hanno una statura bassa per la loro età; se l'insufficienza è di natura grave si ha una interruzione completa dello sviluppo e il bambino presenta sintomi caratteristici: esantema e depigmentazione della pelle, edema e un mutamento nel colore dei capelli, i quali assumono una sfumatura arancione-rossastra che è particolarmente impressionante nei bambini i cui capelli normalmente sarebbero neri. La gamma della malnutrizione dovuta a carenza di proteine e di calorie (che a chi lavora in questo campo è nota con la sigla PCM, composta dalle iniziali di *protein-calories malnutrition*) va da una dieta relativamente ricca di calorie e povera di proteine (che si manifesta nella sindrome nota col nome di kwashiorkor) a una dieta povera sia di calorie, sia di proteine (che si manifesta nel marasma).

Sebbene la malnutrizione dovuta a carenza di calorie e di proteine sia la forma prevalente di denutrizione, altrettanto diffuse sono le malattie causate da un'insufficienza di vitamine o di minerali specifici. È vero che la prevalenza di certe classiche malattie da carenza ha avuto una drastica flessione dopo la seconda guerra mondiale. Il bèri bèri ora è raro e la pellagra è stata praticamente sradicata, per lo meno nella sua forma acuta; il rachitismo si nota più che altro nella sua forma adulta (osteomalacia) nelle donne mussulmane, che non prendono mai sole e lo scorbuto non lo si riscontra quasi più se non nei prigionieri a cui non viene fornita una quantità sufficiente di vitamina C. Per contro, la cecità provocata dalla mancanza di vitamina A si manifesta con particolare frequenza in India, in Indonesia, nel Bangla Desh, nel Vietnam, nelle Filippine, nell'America Centrale, nel nord-est del Brasile e in alcune regioni dell'Africa. In alcune zone remote dell'entroterra (Africa centrale, regioni montagnose dell'America meridionale e dell'Himalaya) è comune il gozzo, un'anomala ipertrofia della tiroide dovuta a mancanza di iodio. L'Organizzazione mondiale della sanità ritiene che fino al 5 per cento di tali popolazioni siano affette da cretinismo, uno stato irreversibile provocato dalla mancanza di iodio nella madre prima o durante la gravidanza. Secondo stime approssimative, dal 5 al 17 per cento degli uomini e dal 10 al 50 per cento delle donne di alcuni paesi dell'America meridionale, dell'Asia e dell'Africa soffrono di anemia dovuta a mancanza di ferro.

Gli esseri umani più esposti ai danni della malnutrizione sono i neonati, i bambini fino all'età di cinque o sei anni, le gestanti e le donne che allattano. Per i neonati le proteine in particolare sono necessarie durante lo sviluppo fetale e la crescita delle ossa, dei muscoli e degli organi. I figli di una donna malnutrita hanno maggiori probabilità di nascere prematuri o con una statura bassa e corrono maggiori pericoli di morire o di presentare qualche disfunzione neurologica e mentale permanente. Lo sviluppo del cervello ha inizio durante la gravidanza ed è completo prima dei due anni. La malnutrizione durante questo periodo, quando si vanno formando i neuroni e le connessioni nervose, può essere la causa di un ritardo mentale a cui non sarà mai possibile porre rimedio in seguito con misure correttive. Le conseguenze a lunga scadenza, non solo per l'individuo, ma anche per la società e per l'economia, non hanno bisogno di essere messe in rilievo.

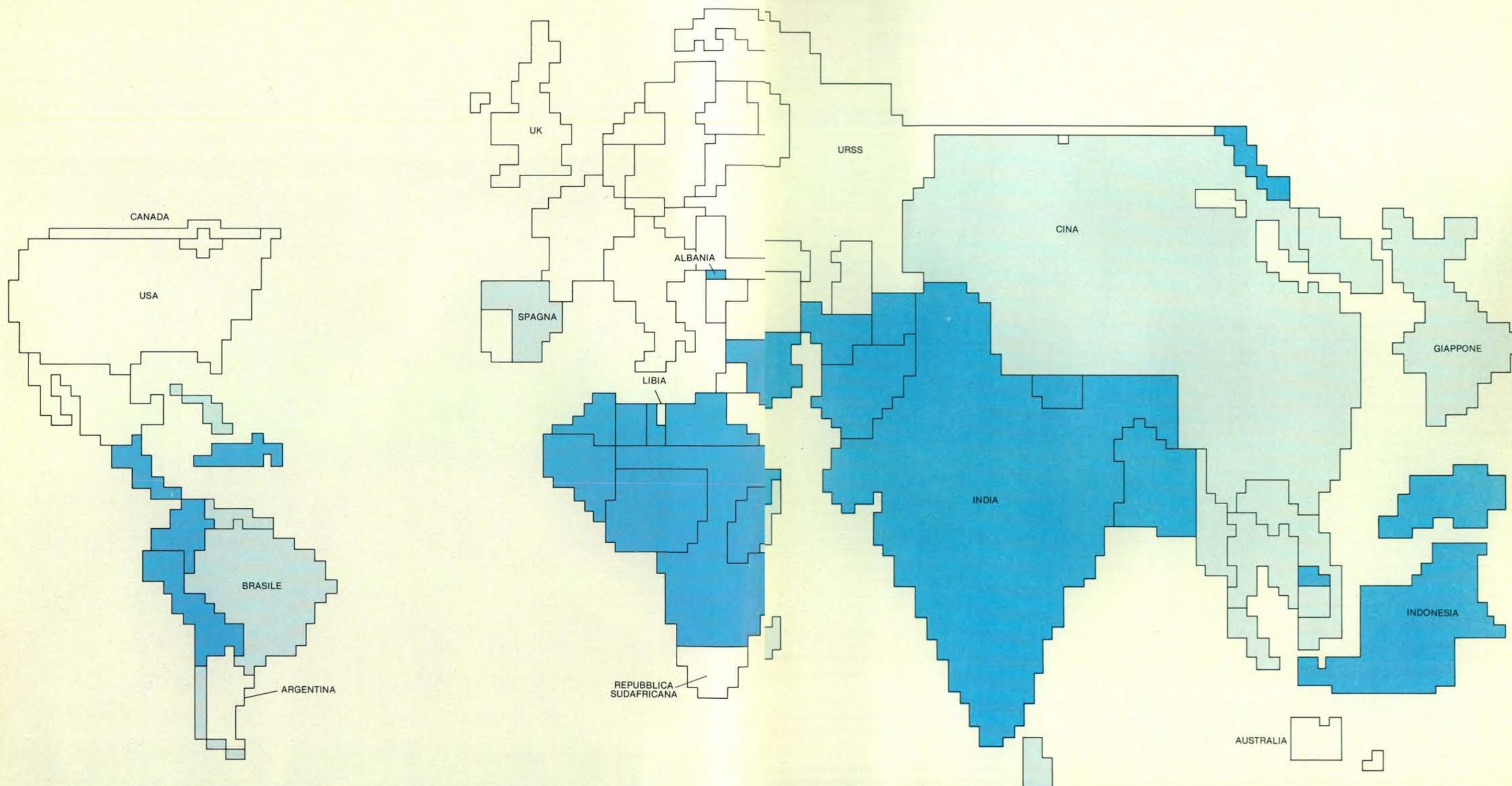
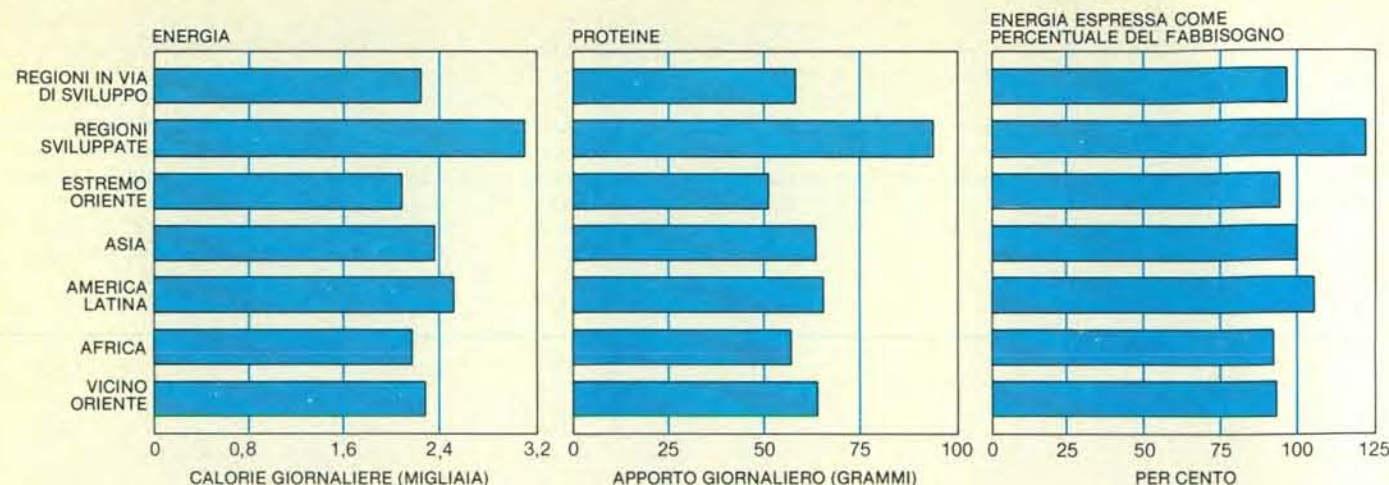
I bambini, man mano che crescono, hanno bisogno di più sostanze nutritive degli adulti. Un bambino malnutrito è più sensibile alle comuni malattie dell'infanzia, e la malattia a sua volta intacca

Famiglia di poveri contadini dell'Alabama fotografata nel 1936 da Walker Evans per la Farm Security Administration del Dipartimento americano dell'agricoltura. Il capofamiglia era Bud Fields, che viveva a Hale County, nella parte centro-occidentale dello stato. Nei 40 anni che ci separano da questa celebre fotografia la povertà in questa zona è stata in gran parte eliminata per mezzo di programmi di sviluppo. Qui, come nelle zone dei paesi in via di sviluppo in cui la fame è endemica, gli effetti della malnutrizione sono stati più gravi fra le gestanti e i bambini.

in misura più alta del solito le riserve nutritive. Per di più presso molte popolazioni, seguendo ancora il vecchio adagio secondo cui quando si ha la febbre è meglio stare a dieta, si tolgono al bambino dei cibi nutrienti proprio quando egli ne ha maggiormente bisogno, spingendolo spesso in tal modo oltre la soglia della malnutrizione grave. Il processo malnutrizione, infezioni, malnutrizione grave, infezioni ricorrenti e morte in età precoce è tanto comune che il tasso di mortalità fra i bambini fino ai quattro anni in generale, e fra i neonati in particolare, rappresenta uno degli indici dello stato dell'alimentazione di una popolazione nel suo complesso. Al di sotto di un anno, il tasso di mortalità è di circa 250 per ogni mille nati nello Zambia e in Bolivia, di 140 in India e nel Pakistan e di 95 in Brasile (nonostante l'aumento incessante del suo prodotto nazionale lordo). In Svezia il tasso è di 12 per mille nati; negli Stati Uniti la media è di 19, ma nei ricchi sobborghi del paese la cifra scende ai livelli della Svezia, mentre sale a circa 25 nelle zone povere delle città dell'interno e addirittura a 60 fra i membri della società più miserabili e trascurati: i lavoratori agricoli stagionali.

Quale sia il grado di attendibilità delle cifre relative alle nazioni in via di sviluppo è tuttavia un'altra questione. Nella maggior parte dei casi le documentazioni statistiche sono deficienti quanto il resto dell'economia. I decessi, specie quelli dei neonati nel primo giorno di vita, spesso non vengono neanche registrati. Con ogni probabilità i valori sono molto più alti di quelli riportati.

Una valutazione più precisa dei livelli di alimentazione viene tentata in due modi. Uno consiste nel fare un «bilancio alimentare», segnando all'attivo la produzione agricola, le scorte e gli acquisti, e al passivo la parte del raccolto andata perduta, quella destinata alla seminagione delle colture dell'anno successivo e quella usata come foraggio; in tal modo è possibile fare un calcolo approssimativo del cibo che rimane per il consumo umano. Questa cifra può essere poi raffrontata con le tabelle calcolate dalla FAO (Food and Agriculture Organization) per ottenere una stima dell'adeguatezza dell'alimentazione in una nazione.

Questo metodo ha più di un inconveniente. Per parecchie ragioni esso tende a produrre delle stime inferiori ai valori reali. Innanzi tutto è difficile fare una

Il livello di energia ottenuto dal cibo è indicato su una carta in cui la superficie di ogni nazione è proporzionale alla popolazione. Il Canada, per esempio, occupa un grande territorio ma ha una popolazione relativamente ridotta, mentre il Giappone ha una popolazione numerosissima addensata in una superficie relativamente piccola. Il livello dell'energia assorbita è indicato dalla presenza o assenza del colore. Nei paesi rappresentati in colore scuro la quantità media di calorie immesse nell'organismo è insufficiente. (Secondo le commissioni delle Nazioni Unite, una quantità adeguata è pari a circa 3000 calorie al giorno per gli uomini e 2300 per le donne.) Nei paesi indicati con un colore più chiaro la quantità media di calorie è sufficiente mentre nei paesi rappresentati in bianco essa è in eccesso almeno del 10 per cento.

Rappresentazione grafica della disponibilità di calorie e di proteine per le regioni sviluppate e in via di sviluppo e per alcune specifiche regioni in via di sviluppo. Le cifre indicano la dieta quotidiana media pro capite nelle varie regioni e si basano su dati raccolti dall'International Task Force on Child Nutrition per le Nazioni Unite. I dati per l'Asia si riferiscono a economie a pianificazione centralizzata.

stima della produzione agricola dei paesi in via di sviluppo con un certo grado di precisione. Gli agricoltori hanno varie motivazioni per sottovalutare le proprie colture: possono farlo, per esempio, per ridurre le imposte o la quota (pari spesso perfino al 60 per cento del raccolto) da dare al padrone della terra come canone d'affitto. In secondo luogo, gli alimenti inclusi nel bilancio tendono a essere quelli che figurano in modo preminente nei canali commerciali: grano, semi di soia e bestiame di grossa taglia. Altri prodotti agricoli, uova, animali di piccola taglia, frutta e ortaggi, essenziali per una buona alimentazione, ma destinati al consumo o alla vendita sul luogo, sono quasi impossibili da valutare e così vengono ignorati.

D'altra parte il metodo del bilancio ha certe tendenze a produrre stime superiori ai valori reali. È estremamente difficile, per esempio, calcolare quanto di una coltura vada perduto dopo il raccolto a causa degli insetti, dei roditori e dei microrganismi. Si sa che negli Stati Uniti, nonostante la tecnologia avanzata disponibile, tale perdita si avvicina al 10 per cento per il grano e probabilmente è più alta per altre coltivazioni. In alcuni paesi tropicali la perdita può arrivare al 40 per cento. Per tutte queste ragioni le cifre relative alla produzione alimentare non costituiscono un indice particolarmente preciso della quantità di cibo effettivamente disponibile per il consumo o del tipo di cibo effettivamente consumato, e inoltre non permettono di differenziare i modelli di consumo nell'ambito di una popolazione. Esse forniscono però stime approssimative dello stato dell'alimentazione regione per regione.

Il secondo modo di valutare il grado di malnutrizione all'interno di una zona è quello di estrapolare i dati dei documenti degli ospedali e delle indagini condotte su settori rappresentativi della popolazione. Le statistiche relative alle malattie tendono tuttavia a essere altrettanto inattendibili quanto quelle sulla mortalità. I criteri per il ricovero in ospedale sulla base della malnutrizione variano da un paese all'altro; nelle zone rurali i documenti possono essere carenti; i poveri, fra i quali è più probabile riscontrare la malnutrizione e le relative condizioni di salute, costituiscono il settore della popolazione che è meno probabile che ricerchi un aiuto medico; quando poi questo aiuto viene ricercato, lo stato di salute a quel punto è ormai tale, che le malattie associate alla malnutrizione, quali la poliomelite e la diarrea infantile, possono attirare tutta l'attenzione del medico, facendogli trascurare le condizioni che le hanno favorite.

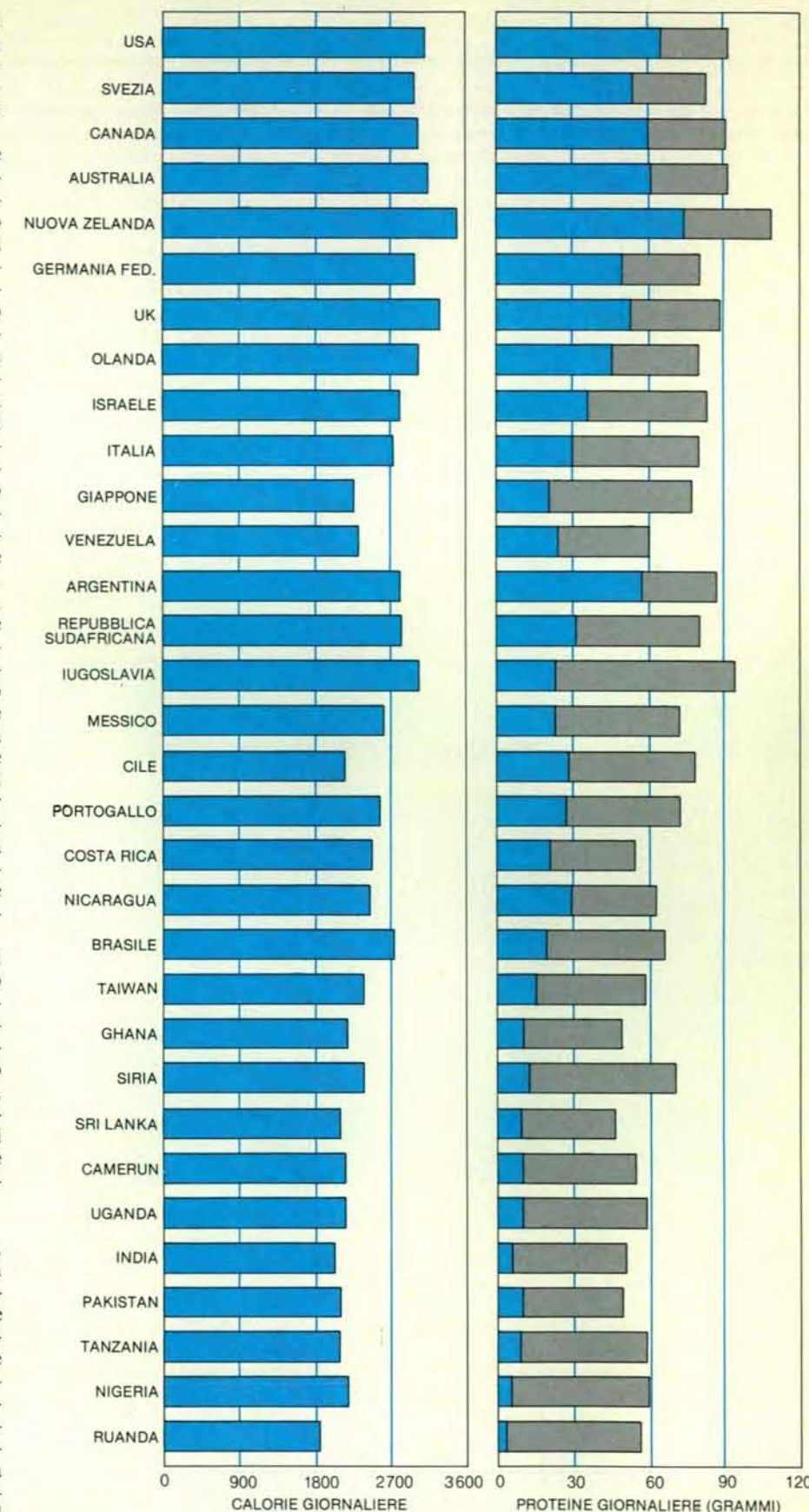
Proiezioni basate sui risultati di 77 studi compiuti sullo status nutritivo di oltre 200 000 bambini di età prescolare in 45 paesi dell'Asia, dell'Africa e dell'America Latina portano a 98,4 milioni il numero totale dei bambini che soffrono in una misura o nell'altra di malnutrizione dovuta a insufficienza di proteine e di calorie. Le percentuali variano da 5 a 37 in America Latina, da 7 a 73 in Africa e da 15 a 80 in Asia (esclusa la Cina). Queste indagini tuttavia non seguivano procedure standardizzate. In alcune di esse si facevano delle valutazioni di carattere clinico e in altre si confrontava il peso dei bambini con quello delle tabelle internazionali. Così, sebbene le indicazioni generali di tali studi siano utili, le cifre che se ne ricavano sono, nel migliore dei casi, molto approssimative. Per avere delle cifre attendibili sui livelli della fame e della malnutrizione nel mondo al giorno d'oggi, sarebbero necessarie delle indagini su larga scala che comprendano sia esami clinici condotti in base a una definizione ben precisa della malnutrizione, sia studi sui consumi individuali che determinino la quantità e la qualità del cibo e la sua distribuzione nell'ambito delle singole famiglie.

Anche se le cifre che si ricavano con questi metodi non sono sicure, la situazione che essi rispecchiano è chiara. A mio giudizio sembra ragionevole indicare in 500 milioni il numero delle persone che soffrono di malnutrizione, e aggiungere a tale cifra un altro miliardo di individui che trarrebbero beneficio da una dieta più varia, tutti concentrati in massima parte nell'Asia meridionale e nell'Africa subsahariana. Indagini cliniche e documenti ospedalieri indicano che, dovunque esista, la malnutrizione è più grave fra i neonati, fra i bambini in età prescolare e fra le gestanti e le donne che allattano; che essa prevale maggiormente nelle zone rurali depresse e negli *slum* delle grandi città; che il problema è la mancanza di calorie quanto la mancanza di proteine; che (eccezion fatta per le zone in cui la gente si tiene in vita mangiando soprattutto manioca e banane), là dove le calorie sono sufficienti, anche le proteine tendono a essere sufficienti, e che, sebbene la mancanza di cibo sia il fattore fondamentale della malnutrizione, tale mancanza è dovuta a molteplici cause, le quali operano da sole o in varie combinazioni. Una nazione può mancare di una produzione alimentare autosufficiente come pure del denaro necessario per acquistare derrate alimentari o per fornire agli agricoltori gli strumenti necessari per accrescere la produzione; i membri più poveri della popolazione possono non avere un reddito sufficiente per acquistare provviste che pure sarebbero disponibili; vi possono essere inoltre fattori regionali, quali le abitudini in fatto di alimentazione dei bambini e i limiti posti alla circolazione delle derrate alimentari che impediscono che il cibo vada proprio là dove c'è n'è più bisogno.

Sulla base di queste risultanze si possono dividere le nazioni del mondo in cinque gruppi. Il primo gruppo comprende le nazioni industrializzate, in cui il cibo è abbondante ma in cui persistono delle sacche di povertà. Qui i governi sono in grado di far fronte ai problemi della malnutrizione con l'assistenza alimentare ai poveri, con programmi di carattere dietetico e sanitario e con programmi di educazione alimentare. I membri principali di questo gruppo sono gli USA, il Canada, le nazioni dell'Europa occidentale, il Giappone, l'Australia, la Nuova Zelanda, Hong Kong e Singapore.

Il secondo gruppo è composto dalle nazioni a pianificazione economica centrale, nelle quali, qualunque sia la filosofia economica, lo schema egalitario della distribuzione del reddito, unito al controllo governativo dell'approvvigionamento e della distribuzione delle derrate alimentari, sembra aver assicurato in questi ultimi anni la popolazione contro la malnutrizione dovuta alla fame. In questa categoria rientrano la Cina continentale, Taiwan, la Corea del Nord, la Corea del Sud, il Vietnam del Nord e il Vietnam del Sud. Al terzo gruppo appartengono le nazioni dell'Organizzazione dei paesi esportatori di petrolio (OPEC), la cui ricchezza generale è innegabile, ma il cui modello di distribuzione del reddito non assicura che tale ricchezza vada a beneficio dei poveri. Quarto è un gruppo di paesi dell'Asia, del Vicino Oriente, dell'America centrale e meridionale che sono già autosufficienti o quasi autosufficienti dal punto di vista della produzione alimentare al livello attuale della domanda interna. Ma tale domanda viene mantenuta bassa dalla distribuzione disuguale del reddito, che si riflette nella malnutrizione di larghi settori della popolazione. Il Brasile, per esempio, vanta il tasso di sviluppo economico più elevato del mondo, ma la malnutrizione raggiunge punte eccezionali nel nord-est ed è molto diffusa nelle bidonville che sorgono intorno alle grandi città.

Il quinto gruppo comprende i paesi che le Nazioni Unite definiscono «meno sviluppati». Essi hanno delle risorse economiche troppo misere per poter provvedere alle fasce della popolazione di reddito più basso. Molti di questi paesi sono soggetti in maniera ricorrente a siccità, inondazioni o cicloni; alcuni sono devastati dalla guerra. Tutte le 25 nazioni meno sviluppate sono povere di risorse naturali e di capitali da destinare agli investimenti.

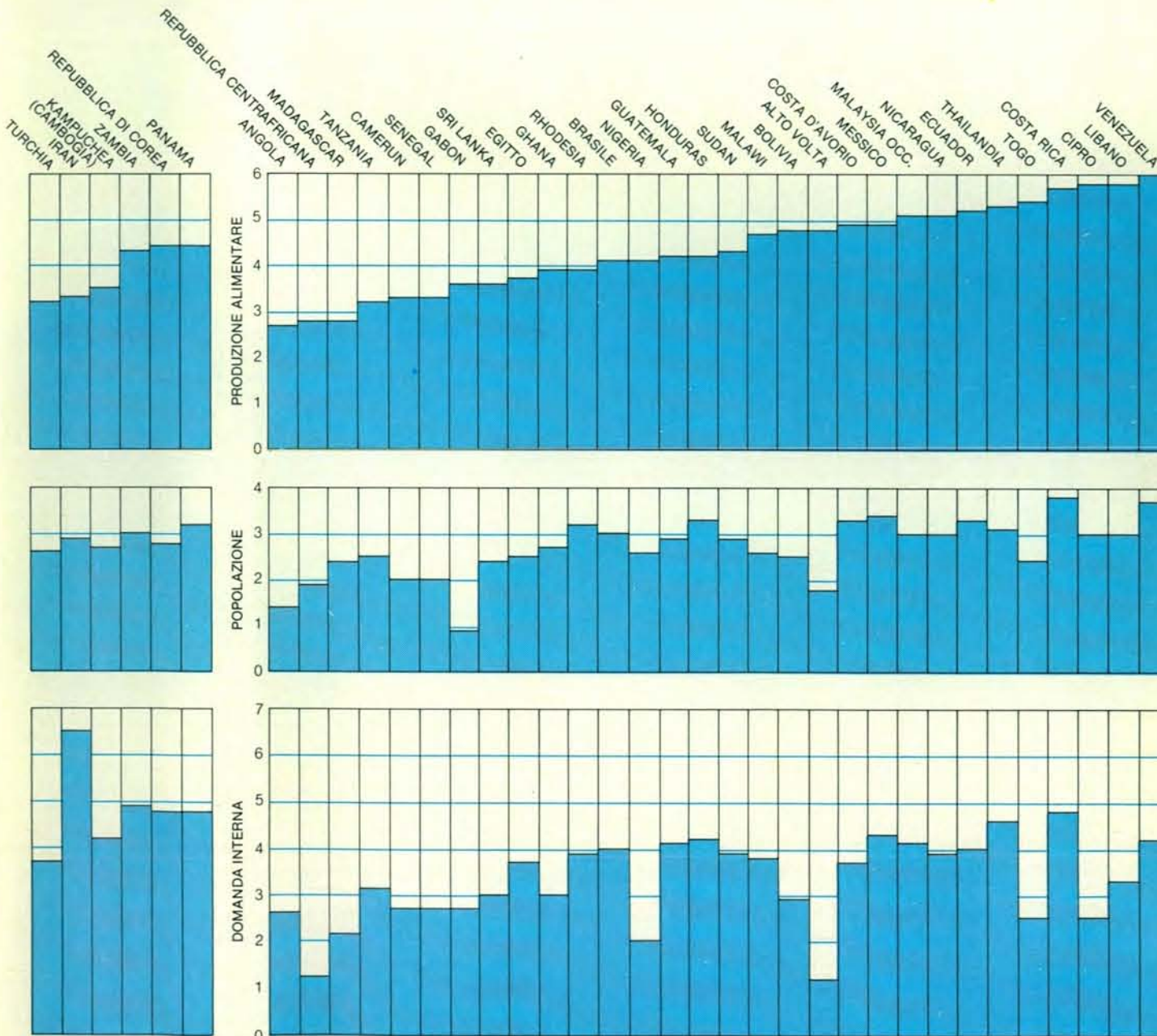
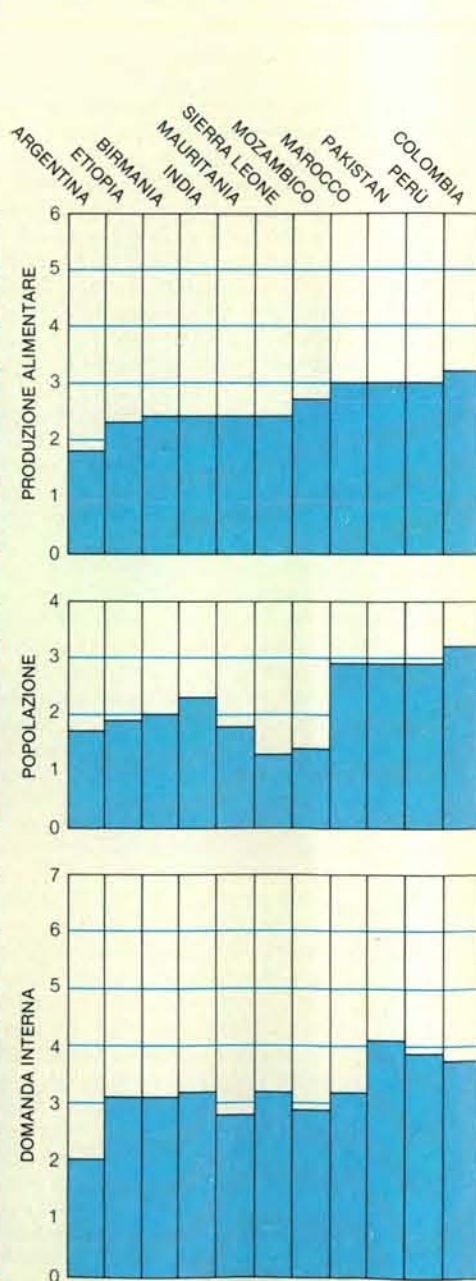
Oggi, volgendo lo sguardo a ritroso, pare incredibile che nel 1972 si sia potuto avere l'impressione che, per la prima volta nella storia, il mondo potesse disporre in breve tempo di un'abbondante provvista di beni alimentari. Le nuove varietà di grano della «rivoluzione verde» avevano attecchito in Messico e nell'India nordoccidentale, e le nuove varietà di riso sviluppate nelle Filippine promettevano coltivazioni a elevata resa produttiva di un alimento base dei popoli dell'Asia sudorientale. I prodotti del mare continuavano a crescere in modo spettacolare (da 21 milioni di tonnellate nel 1950 a 70 milioni nel 1970, un aumento costante di circa il 5 per cento all'anno, che superava del 2 per cento il tasso di crescita della popolazione mondiale). La produzione di cereali aumen-

Raffronto fra la nutrizione e l'economia nazionale di alcuni paesi elencati secondo il loro prodotto nazionale lordo suddiviso pro capite. A sinistra è indicata la disponibilità media quotidiana di calorie della popolazione di ogni paese. A destra la lunghezza complessiva dell'istogramma rappresenta, calcolato in grammi, il consumo medio quotidiano di proteine di ogni persona, mentre la parte in colore indica la quota di tali proteine che è di origine animale.

tava nel mondo del 2,8 per cento l'anno ed esistevano riserve cospicue sotto forma di scorte tenute in serbo dai principali paesi esportatori e di terre agricole lasciate inattive negli USA nell'ambito del programma della banca del suolo. Le prospettive erano tanto rosee che nel 1969 la FAO avanzò l'ipotesi che i problemi alimentari del futuro potessero essere quelli posti dalle eccedenze più che dalle insufficienze.

Sebbene due improvvisi e quasi simultanei raccolti disastrosi in più di una zona e il brusco aumento dei prezzi del petrolio fossero la causa immediata della crisi alimentare del 1972-1974, è ormai chiaro che quattro fattori a lunga scadenza, che si erano andati pian piano accumulando in un lungo arco di tempo, stavano in ogni caso per alterare permanentemente quella situazione così promettente. (La prima inversione di tendenza a breve scadenza, la riduzione del raccolto in parecchie parti del mondo a causa delle avverse condizioni del tempo, ne produsse subito una seconda: i massicci acquisti di cereali da parte dell'URSS, che esaurirono le riserve americane e fecero salire bruscamente i prezzi internazionali del grano, del granoturco e del riso. Inoltre l'aumento del prezzo del petrolio ha messo la rivoluzione verde praticamente fuori della portata di paesi come l'India, il Pakistan e il Bangla Desh, che sono poveri di petrolio e di altre risorse e hanno raggiunto il massimo possibile della produttività con i metodi di coltivazione tradizionali. L'aumento del prezzo del petrolio ha anche scombussolato l'economia delle nazioni ricche, riducendo il loro contributo agli aiuti internazionali.)

Anche se la situazione oggi è meno grave di quanto fosse nel 1974, è più precaria a causa dei fattori a lunga scadenza. Fra questi il primo fattore è l'aumento della popolazione umana: 80 milioni di unità l'anno. Per di più il ritmo di crescita è più rapido proprio nelle zone che già incontrano le maggiori difficoltà in campo alimentare.

Quando si considerano gli effetti della crescita della popolazione, bisogna però tener presente il fenomeno noto col nome di transizione demografica. Si tratta del processo mediante il quale le società passano da una fase di tassi di natalità e mortalità elevati a una fase di tassi di natalità e di mortalità bassi. Di solito il calo del tasso di mortalità precede quello del tasso di natalità in una misura che varia da una a tre generazioni. Da entrambe le parti della transizione il risultato è un livello stabile della popolazione. I paesi sviluppati hanno già compiuto la transizione o ne sono a buon punto; i paesi in via di sviluppo la stanno compiendo ora, ma su questa strada hanno percorso distanze molto diverse.

Accanto alla disuguaglianza in fatto di crescita demografica, intesa come fattore a lunga scadenza che incide sulle disponibilità alimentari, c'è una disuguaglianza ancora maggiore in fatto di modelli di produzione e di utilizzazione delle derrate. Pare che sia storicamente inevitabile che, a mano a mano che una persona o una società diventano ricche, aumenti il loro consumo di prodotti animali. Questo significa che una parte maggiore dei loro prodotti alimentari di base (cereali, legumi e anche pesce), che potrebbero nutrire direttamente degli esseri umani, viene invece adoperata per dar da mangiare agli animali domestici come ovini e bovini. L'efficacia della conversione degli alimenti vegetali in alimenti animali varia a seconda del prodotto animale, ma in nessun caso supera il livello del 25 per cento raggiunto con il latte e le uova.

La tendenza della produzione alimentare di 71 paesi in via di sviluppo è tracciata in questo grafico sulla base del raffronto, per ogni singolo paese, fra il mutamento annuale medio della produzione alimentare (in aumento dappertutto tranne che in Algeria) e il mutamento in fatto di popolazione e di domanda interna di alimenti che rispecchia non solo la crescita demografica, ma anche lo stato economico delle persone e le loro mutate preferenze nei riguardi dei cibi. Ogni colonnina mostra il mutamento percentuale medio degli anni compresi fra il 1953 e il 1971. Nel gruppo di 24 nazioni che incomincia con l'Algeria e finisce con le Filippine, l'aumento della produzione alimentare non ha tenuto il passo della crescita demografica. Nelle 17 nazioni che seguono (dall'Argentina al Panama), l'aumento della produzione alimentare ha superato la crescita demografica ma non ha mutato la domanda interna. Nell'ultimo gruppo di 30 nazioni (dall'Angola al Venezuela) l'aumento della produzione alimentare ha superato la crescita demografica e l'aumento della domanda interna.

L'effetto netto di questa tendenza è che i paesi ricchi consumano molto più cibo pro capite di quelli poveri. È stato calcolato, che in Cina ogni persona è nutrita adeguatamente con 204 chilogrammi di cereali all'anno, di cui 159 consumati direttamente come cereale o come prodotti cerealicoli e 45 adoperati per dar da mangiare agli animali domestici. Negli USA l'individuo medio consuma più di 900 chilogrammi di cereali l'anno, di cui 68 consumati direttamente (come pane, pasta, cereali per la prima colazione e altre cose del genere) e il resto dato agli animali.

La terza fonte di pressione sulle disponibilità alimentari del mondo è stata la diminuzione dei prodotti dell'industria ittica, un'importante fonte di proteine per molte nazioni povere. Nel 1970 e nel 1971 la quantità totale di pescato si mantenne costante intorno ai 70 milioni di tonnellate. Nel 1972 scese bruscamente a 55 milioni di tonnellate. I motivi di questa flessione sono l'esaurimento delle risorse ittiche e l'inquinamento.

Infine, è ormai chiaro che il «miracolo» della rivoluzione verde richiede più tempo, più lavoro e più capitali di quanto si fosse pensato da principio sull'onda dell'entusiasmo. Non mi soffermerò ad approfondire questo punto, in quanto la rivoluzione verde viene trattata in altri articoli di questo fascicolo. Tutto sommato, la situazione, così come si presenta oggi, è precaria ma controllabile, a meno che non succeda qualche catastrofe, come una serie di raccolti disastrosi negli USA, che attualmente sono il granaio del mondo.

E il futuro? Per il futuro prenderemo in esame innanzi tutto tre azioni che si potrebbero intraprendere per affrontare le carestie.

Innanzi tutto occorre un sistema di preallarme. Esso si dovrebbe valere dei satelliti meteorologici, degli indici economici (quali il movimento e le quantità delle derrate alimentari di una regione) e degli indicatori clinici. Uno degli indicatori clinici più sensibili è fornito dai grafici con le curve del peso e della statura dei bambini dei settori socioeconomici più vulnerabili di una società.

Quindi occorre costituire una piccola organizzazione internazionale permanente che coordini tali informazioni per ogni regione e le controlli con attenzione per coglierví il minimo segno di un incombente stato di emergenza. Questo ente dovrebbe curare la pubblicazione di manuali sul modo di procedere contro disastri e carestie, tenere corsi periodici di addestramento per gli uomini chiave di ogni nazione, elaborare piani di emergenza (elencando possibili esigenze e fonti di viveri, medicinali, trasporti e personale) e studiare a fondo questioni come l'accumulazione di scorte di derrate essenziali e l'istituzione di sistemi alternativi di distribuzione.

Infine occorre un'adeguata riserva di cereali distribuita strategicamente in tutto il mondo. Questa riserva dovrebbe servire come provvista di scorta per i paesi limitrofi mentre gli invii di cereali destinati a questi ultimi sono dirottati verso la zona colpita. Non è detto che questo congegno allontani senz'altro una carestia, ma certo impedirebbe a una carestia di tramutarsi in una catastrofe di grandi proporzioni.

1970
1971
1972
1973
1974
AFRICA
AMERICA SETTENTRIONALE E CENTRALE
AMERICA MERIDIONALE
ASIA
EUROPA
URSS
0 8 16 24 32
PESCATO (MILIONI DI TONNELLATE)

La quantità di pescato nel mondo pare essersi stabilizzata intorno ai livelli del 1970, dopo il calo del 1972 e del 1973 dovuto soprattutto alla brusca flessione verificatasi nell'America meridionale. In quasi tutte le altre regioni si è registrato invece un lieve aumento. I dati sono forniti dalla FAO.

Si possono prendere diversi provvedimenti per affrontare la malnutrizione. Nei prossimi anni sarà necessario continuare a fornire aiuti sotto forma di cibo dove ve ne sarà bisogno. Può darsi che i paesi meno sviluppati richiedano ancora per qualche anno un'assistenza speciale sotto forma di derrate alimentari e di programmi attinenti alla nutrizione. Queste nazioni dovrebbero essere aiutate anche a sviluppare dei metodi per accrescere la loro capacità di immagazzinare le derrate alimentari e di distribuirle nelle aree vulnerabili nei momenti di emergenza.

Esistono programmi semplici ed economici per debellare determinate malattie della malnutrizione. La cecità causata da un'insufficienza di vitamina A può essere prevenuta con due iniezioni annue di 100 000 unità di questa vitamina, con una spesa di decine di lire per persona. Il gozzo può essere prevenuto con la iodizzazione del sale con una spesa minima.

A medio termine (i prossimi 15 anni all'incirca) la meta dev'essere quella di rendere le nazioni in via di sviluppo indipendenti in fatto di provviste alimentari. Il pescato pare che si sia stabilizzato intorno ai livelli del 1970. Sarebbe bene ridurre la produzione di beni alimentari ricavati da animali che competono con gli esseri umani nel consumo dei cereali. (Gli animali da pascolo, che utilizzano terreni che non si possono coltivare e colture che non possono essere consumate dagli esseri umani, sono un'altra questione.) Lo sviluppo di nuovi elementi è ancora di là da venire. L'unica risorsa sicura è la rivoluzione verde, che ha tuttora la capacità di raddoppiare o triplicare la resa produttiva in certe aree.

È quindi importante dare subito inizio alla costruzione di fabbriche di fertilizzanti, preferibilmente proprio alla fonte della materia prima (il gas naturale intorno al Golfo Persico e in Nigeria, per esempio) o nei paesi bisognosi. Questo lavoro dovrebbe essere secondato da aiuti internazionali e da quantitativi di petrolio venduti dai paesi dell'OPEC a prezzi di favore.

Un altro passo consiste nell'aiutare le nazioni che hanno un deficit alimentare ad avviare ricerche agricole e corsi di istruzione popolare, con l'obiettivo di adattare la rivoluzione verde a un'agricoltura di tipo tropicale e ad alta intensità di manodopera e di assistere i piccoli coltivatori ad aumentare la resa produttiva dei loro campi, mantenendo al tempo stesso una produzione varia di piccoli animali, frutta e ortaggi, in modo da non dipendere per avere un guadagno sufficiente da un'unica, estesa coltura. Questi paesi possono venir aiutati anche a sviluppare dei modi per proteggere il prodotto dei campi una volta effettuato il raccolto e a stabilire un'industria indigena in grado di imballare e distribuire i prodotti alimentari. Bisognerebbe creare un sistema di credito internazionale che favorisca i piccoli coltivatori e commercianti e promuova una più equa distribuzione del reddito e delle possibilità di sviluppo. Infine, bisognerebbe organizzare un sistema internazionale di previsioni meteorologiche in modo che i raccolti disastrosi non arrivino di sorpresa.

Questi provvedimenti richiederanno almeno 25 anni di tempo. Se allora, come sembra probabile, la popolazione mondiale si aggirerà fra i sei e i sette miliardi, bisognerà poter disporre di nuove fonti di cibo, non però ancora in fase di sviluppo, ma già sulla tavola da pranzo. Il guaio è che proprio le nazioni che avranno un più disperato bisogno di questi nuovi alimenti non hanno né le risorse finanziarie né la capacità tecnica di compiere le necessarie ricerche, mentre le nazioni che dispongono di questi mezzi non hanno sentito fino a questo momento l'urgenza di agire in questo senso. Gli obiettivi della ricerca dovrebbero includere lo sviluppo intensivo dell'acquacoltura, la creazione, per mezzo di tecniche genetiche, di nuove specie animali (come il *beefalo*) e di animali da pascolo capaci di utilizzare il foraggio in maniera più efficiente, l'addomesticamento di alcuni animali selvatici, lo sviluppo come cibo di microrganismi unicellulari e la sintesi diretta degli alimenti dal petrolio. Il lavoro intorno a tutti questi obiettivi dovrebbe attualmente essere già in corso.

Per riepilogare, ora sappiamo chi ha fame, anche se non conosciamo il numero preciso di queste persone. E sappiamo anche perché. Gli economisti dicono sovente che il problema sarà risolto aumentando la produzione alimentare. I riformatori sociali sostengono che l'accento va posto su una distribuzione più equa. L'esperienza indica che dobbiamo e possiamo avere una cosa e l'altra.

I moderni metodi di pesca sono esemplificati dalle grandi navi-fattoria del tipo di questa unità giapponese, la *Soyo Maru*. Si tratta di una nave appoggio per motopescherecci a strascico la quale provvede al trattamento del pescato, soprattutto sogliole e *halibut*, durante la navigazione.

I fabbisogni alimentari dell'uomo

Il calcolo delle diete ha un valore nettamente statistico poiché molti fattori interagiscono tra loro nel determinare i fabbisogni alimentari degli individui e delle popolazioni

di Nevin S. Scrimshaw e Vernon R. Young

Gli esseri umani sono privi delle strutture biochimiche atte a fabbricare molti composti organici necessari per la formazione e il mantenimento dei tessuti e per le reazioni metaboliche essenziali alla vita. Questi composti, che tutte le cellule e gli organismi animali devono ottenere preformati dall'ambiente, insieme ad alcuni sali minerali, vengono chiamati sostanze nutritive essenziali. Durante l'ultimo periodo di qualche milione d'anni di evoluzione, la lotta competitiva per l'acquisizione di queste sostanze in quantità sufficiente ha favorito l'avvento e la predominanza della specie umana e ha influenzato profondamente l'ascesa sociale e culturale dell'uomo. Nello stesso tempo l'incapacità dell'uomo di fabbricarsi le sostanze nutritive essenziali lo ha esposto a malattie da carenze alimentari che continuano ancora oggi a minacciare molti milioni di persone.

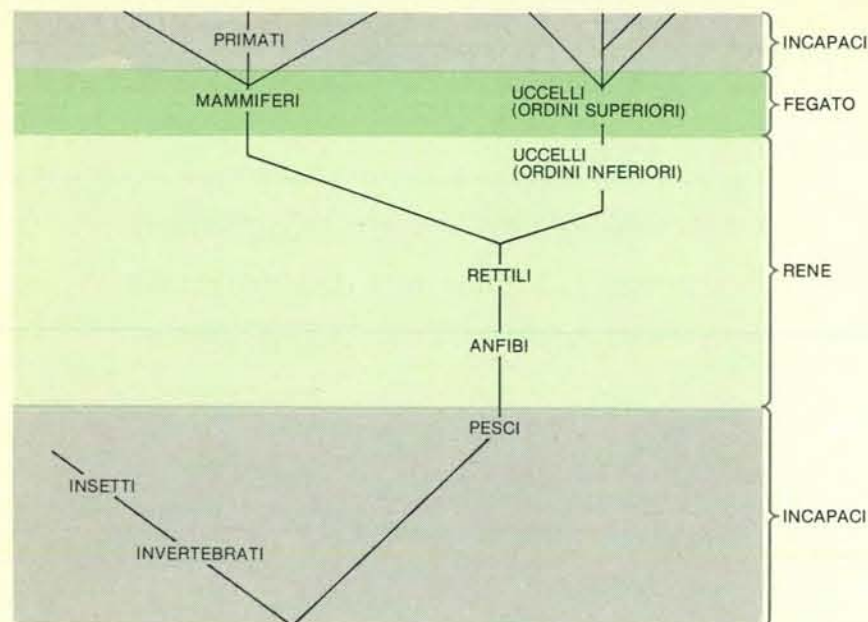
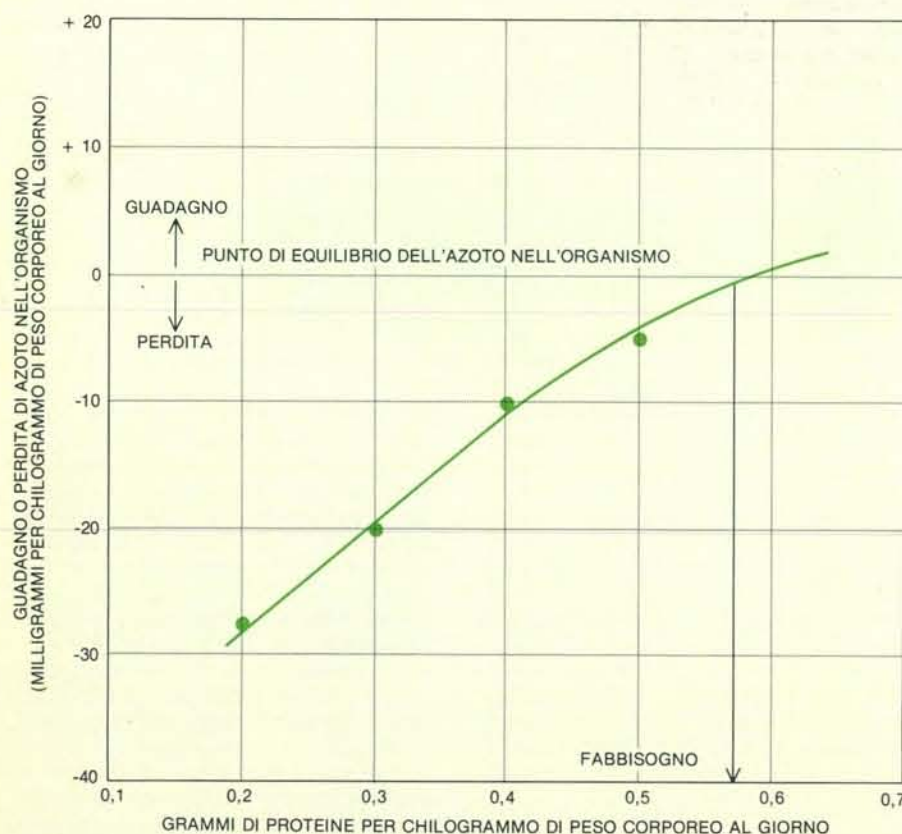
Come si sono evolute le diverse esigenze nutritive degli animali, uomo compreso? Un'importante traccia è apparsa circa trent'anni fa attraverso gli studi pionieristici condotti su una muffa, un ascomicete del genere *Neurospora*, da George W. Beadle e Edward L. Tatum della Stanford University, i quali dimostrarono che una mutazione genica può portare ad alterazioni nei fabbisogni delle cellule e degli organismi nei confronti d'una fonte esterna di composti. Come tutti gli altri organismi vegetali, la *Neurospora* in condizioni normali non richiede la somministrazione di vitamine o amminoacidi per il metabolismo e l'accrescimento: se li fabbrica da sé. Però, quando Beadle e Tatum esposero cellule della muffa ai raggi X, le mutazioni indotte causarono in esse la perdita della capacità di sintetizzare vitamine come la tiamina, la piridossina e l'acido para-amminobenzoico, e amminoacidi come l'istidina, la lisina e il triptofano.

Gli studiosi dell'evoluzione credono oggi che nel lontano passato una serie simile di mutazioni abbia portato all'incapacità di sintetizzare alcune sostanze nutritive da parte degli animali. Sembra che la più primitiva forma di vita sia stata quella di organismi semplici, simili a batteri, capaci di fabbricarsi tutti i composti di cui avevano bisogno partendo da sali minerali, azoto, composti semplici del carbonio e, naturalmente, acqua. Questa capacità implicò l'immagazzinamento di un enorme patrimonio di informazione genica, e le cellule che poterono ridurre i costi metabolici della duplicazione e del mantenimento dei geni conseguirono un vantaggio selettivo. Attraverso la selezione naturale favorevole alle mutazioni che eliminavano le sintesi enzimatiche «inutili» di sostanze nutritive facilmente reperibili, le primitive forme di vita si evolvettero e alla fine diedero origine a cellule animali.

Quando, circa un miliardo di anni fa, apparvero i primi animali unicellulari, non possedevano molte vie biosintetiche riscontrabili nelle cellule vegetali, in particolare il processo fotosintetico che permette alle piante di utilizzare l'energia solare per la sintesi di composti ricchi d'energia, che rivestono grande importanza nel metabolismo cellulare. Tutte le specie animali che presero in seguito origine da questi esseri ancestrali ebbero carenze simili, ma sopravvissero in quanto poterono ottenere l'energia e le sostanze nutritive necessarie da fonti esterne. Per esempio, le piante hanno conservato la capacità di fabbricare tutti i 20 amminoacidi trovati nelle loro proteine partendo da composti semplici del carbonio e dell'azoto, mentre gli animali dipendono dalla dieta per l'approvvigionamento di circa metà di questi amminoacidi.

Un interessante e abbastanza recente aspetto evolutivo riguardante la nutrizione consiste nell'incapacità di certi animali di sintetizzare l'acido ascorbico (vitamina C). I.B. Chatterjee dell'University College of Science, in India, ha stimato che la capacità di sintetizzare questa vitamina sia sorta circa 350 milioni di anni fa negli anfibi, ma che una mutazione genica avvenuta circa 25 milioni di anni fa in un antenato comune dell'uomo e di altri primati abbia portato alla perdita dell'enzima L-gulono ossidasi, che catalizzava l'ultimo passaggio della trasformazione del glucosio in acido ascorbico. Linus Pauling ha suggerito che la perdita di questa via biosintetica sia stata selettivamente vantaggiosa in quanto lasciava libero glucosio per fornire energia all'organismo. Ad ogni modo la mutazione non fu letale in quanto il composto mancante era presente nel cibo degli animali mutati, e l'evoluzione di questi poté così proseguire.

La necessità per l'uomo di ottenere un adeguato apporto di sostanze nutritive essenziali attraverso la dieta influisce non solo sulla sua evoluzione biologica ma anche su quella sociale. Sembra che la migrazione di gruppi umani verso le regioni nordiche della Terra sia stata ritardata dalle scarse quantità di acido ascorbico presenti nei cibi disponibili in quelle aree durante i lunghi mesi invernali. Inoltre, la dipendenza dell'uomo da un adeguato rifornimento di sostanze nutritive fece sì che egli inizialmente dovesse

Questa fotografia, scattata nel 1955 da Fritz Goro nel Canada nordoccidentale, mostra una donna eschimese nell'atto di masticare ossa di caribù per ricavarne gli ultimi frammenti del midollo, ricco di sostanze nutritive. Piccoli gruppi di questi eschimesi che vivevano in zone interne, sparsi per la taiga improduttiva a sud del circolo polare artico, basavano la propria esistenza esclusivamente sul caribù, dal quale ricavavano cibo e vestiti, servendosi perfino delle ossa per fabbricare punte di armi e altri oggetti. I caribù, un tempo molto abbondanti, verso la fine degli anni cinquanta cambiarono le proprie linee migratorie e provocarono una disastrosa carestia nelle tribù. Nel 1960 il governo canadese provvide a trasferire presso la costa i sopravvissuti, che si mescolarono con altri eschimesi e trovarono lavoro in una miniera di nichel. Oggi gli eschimesi che basavano la loro vita sul caribù non esistono più come popolazione distinta dalle altre, vittime - per così dire - della loro dieta fondata su un'unica fonte di alimenti.

La capacità degli animali di sintetizzare la vitamina C e il tipo di cellule atte a compierne la sintesi sono variate nel corso dell'evoluzione. Circa 25 milioni di anni fa una mutazione in un antenato comune dei primati e di altri mammiferi causò la perdita dell'enzima finale di questa via biosintetica. Per tale ragione i primati, certi roditori, i chirotteri e alcuni uccelli hanno bisogno di una fonte alimentare di questa vitamina per evitare l'insorgere di malattie da carenza.

Il fabbisogno minimo di proteine di un gruppo di giovani di condizioni privilegiate è stato determinato nel laboratorio degli autori di questo articolo mediante una tecnica detta del bilancio metabolico. Studenti del Massachusetts Institute of Technology sono stati esaminati per periodi di 15 giorni con differenti somministrazioni di proteine (che contengono azoto). Essi hanno ricevuto una dieta costante in cui l'unica fonte proteica era costituita da uova in polvere. I valori di bilancio dell'azoto (dati dalla differenza tra quantità introdotte e quantità escrete) sono stati misurati sui sette soggetti per ogni livello di somministrazione; i punti riportati nel grafico sono la media statistica di valori individuali. La quantità di proteine sufficiente a mantenere l'azoto in equilibrio, condizione che si verifica quando non c'è né perdita né guadagno di azoto nell'organismo, è considerata come fabbisogno minimo.

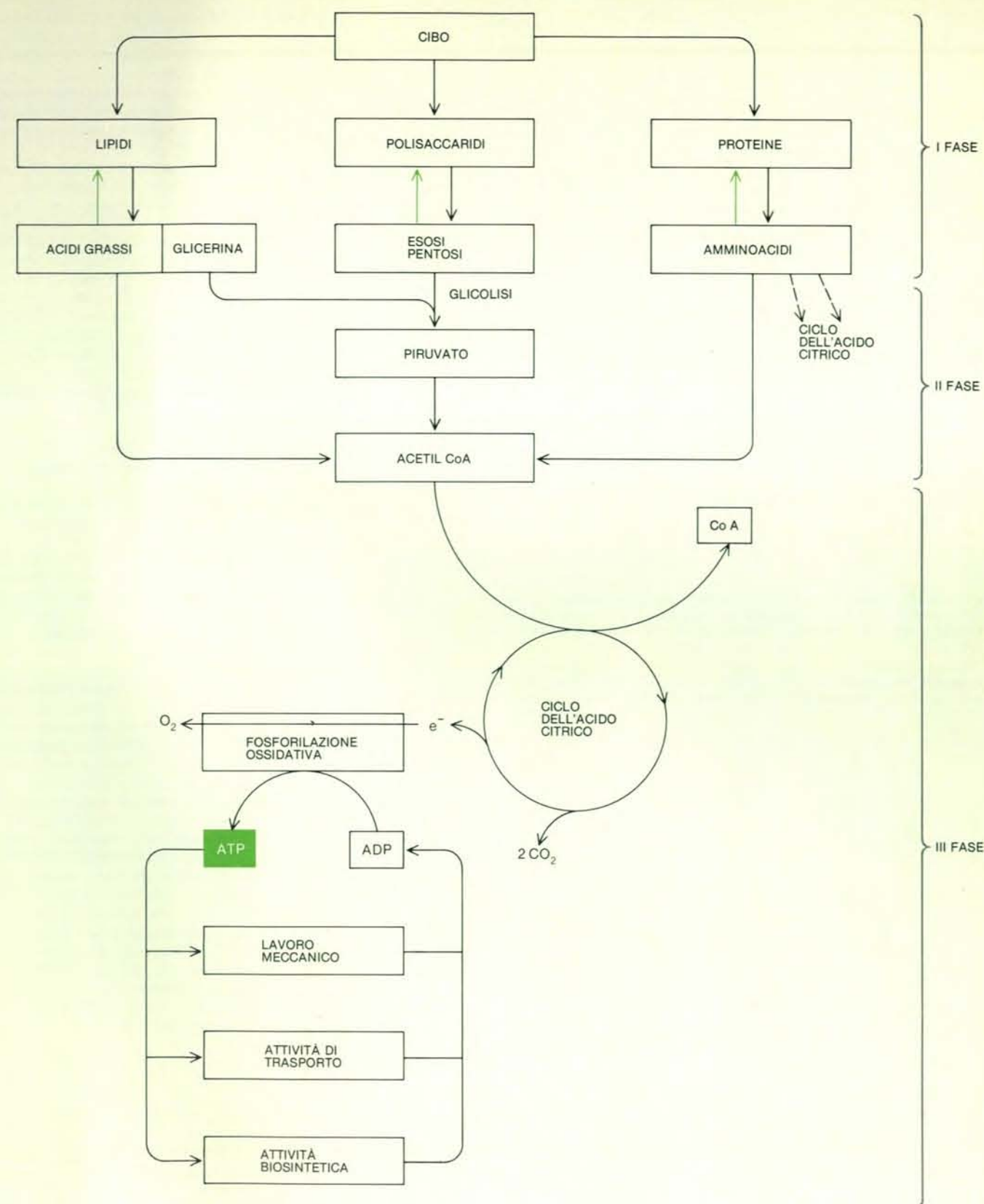
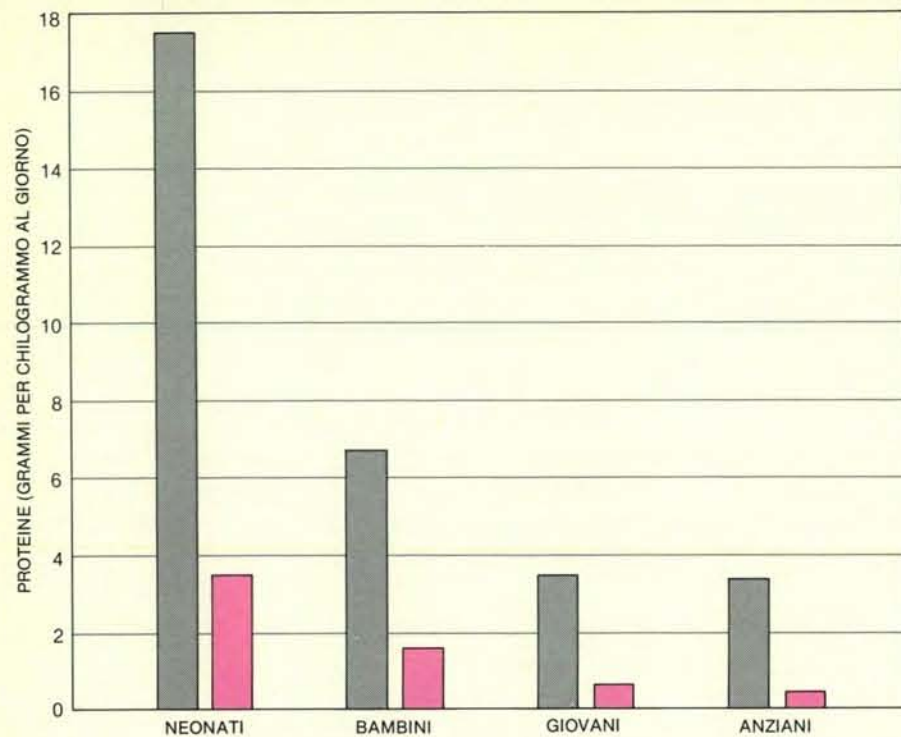
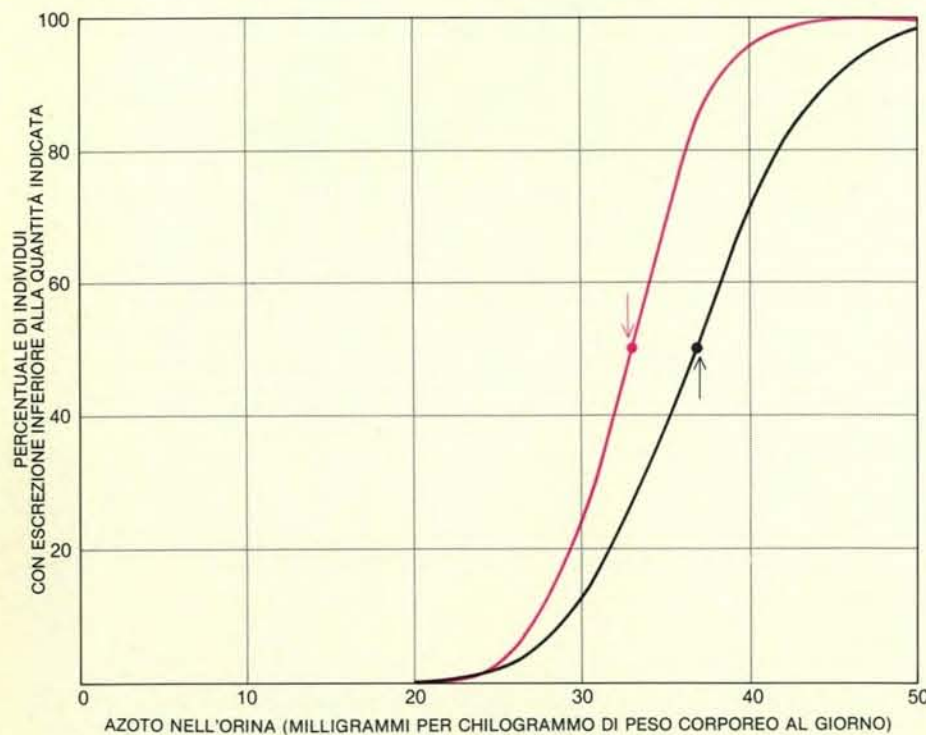
essere cacciatore e raccoglitore, e questo limitò il suo sviluppo culturale. Con la coltivazione dei cereali e di altre piante, e l'addomesticamento di un numero limitato di specie animali, l'uomo fu in grado di organizzarsi un tipo di vita stabile e di assicurarsi le sostanze nutritive essenziali senza doverle ricercare in terre più ricche. Poté così dedicare le sue energie a nuove attività sociali, economiche e artistiche.

Almeno 45, e forse 50, tra elementi e composti sono oggi ritenuti essenziali alla dieta di un essere umano per una vita piena e sana. Gli alimenti vegetali e animali non possono, tuttavia, essere direttamente utilizzati dalle cellule dei tessuti umani. Dapprima la masticazione provvede a ridurre i cibi in frammenti sufficientemente piccoli. Entrano poi in gioco, a livello dello stomaco e dell'intestino, enzimi specifici secreti in parte dalle mucose di questi stessi organi e in parte provenienti dal pancreas. Le sostanze nutritive contenute negli alimenti vengono così liberate durante la digestione, assorbite a livello dell'intestino e trasportate alle cellule tramite il sangue. Finché la dieta fornisce tutte le sostanze nutritive essenziali, le cellule e i tessuti dell'organismo sono capaci di sintetizzare le migliaia di altri composti necessari alla vita.

Poiché la vita dell'organismo dipende da un apporto regolare di sostanze nutritive, si è evoluto un complicato meccanismo biochimico allo scopo di regolare la disponibilità di tali sostanze nelle cellule così che l'organismo possa adattarsi a un'ampia variabilità di assunzione delle stesse. Le sostanze nutritive assorbite in eccesso rispetto alle necessità cellulari vengono captate da vie cataboliche mediante le quali vengono demolite. I prodotti di degradazione vengono infine eliminati attraverso l'orina, la bile, il sudore e altre vie affinché non si accumulino e non raggiungano concentrazioni tossiche.

L'importanza di regolare le concentrazioni delle sostanze nutritive è illustrata drammaticamente in certe malattie dell'uomo. Per un'anomalia genetica certi bambini non sono in grado di metabolizzare adeguatamente gli amminoacidi a catena ramificata (leucina, isoleucina e valina). In un'altra anomalia di origine genetica, la fenilchetonuria, manca l'enzima responsabile della degradazione della fenilalanina. In entrambi i casi si ha un accumulo di amminoacidi nel sangue e nei tessuti, in particolare nel cervello, con conseguente morte delle cellule e ritardo mentale. Il trattamento di individui colpiti da queste malattie consiste in diete speciali contenenti solo piccole quantità delle sostanze dannose.

Un altro esempio di accumulo di sostanze nutritive sino a raggiungere concentrazioni tossiche è l'emocromatosi, una grave malattia del fegato causata di solito da ingestioni notevoli e combinate di ferro e di alcool che portano a un eccessivo accumulo di ferro nel fegato.

CIBO
LIPIDI
POLISACCARIDI
PROTEINE
I FASE
ACIDI GRASSI
GLICERINA
ESOSI PENTOSI
AMMINOACIDI
GLICOLISI
CICLO DELL'ACIDO CITRICO
PIRUVATO
II FASE
ACETIL CoA
Co A
CICLO DELL'ACIDO CITRICO
O_2
e^-
FOSFORILAZIONE OSSIDATIVA
ATP
ADP
$2\ CO_2$
III FASE
LAVORO MECCANICO
ATTIVITÀ DI TRASPORTO
ATTIVITÀ BIOSINTETICA

Il metabolismo delle sostanze nutritive contenenti energia si attua nell'organismo in tre fasi principali. Nella prima fase le grandi molecole contenute negli alimenti vengono scisse nelle loro principali unità costitutive da enzimi che si trovano nell'apparato digerente. Nella seconda fase i differenti prodotti dello stadio precedente vengono assorbiti a livello dell'intestino e trasportati attraverso il sangue alle cellule dei vari tessuti. Qui essi possono o essere incorporati in molecole cellulari per mezzo di processi anabolici (*frecce in colore*) oppure trasformati mediante processi catabolici in un piccolo numero di prodotti intermedi che svolgono un ruolo fondamentale nel metabolismo. Il glucosio, la glicerina, gli acidi grassi e molti amminoacidi vengono trasformati in una sola specie chimica a due atomi di carbonio: il gruppo acetilico del coenzima A (CoA, molecola trasportatrice). Nella terza fase, che si svolge nei mitocondri delle cellule, il coenzima A trasporta le unità acetiliche nel ciclo dell'acido citrico, dove vengono completamente ossidate liberando anidride carbonica e quattro paia di elettroni. Mentre gli elettroni vengono trasportati attraverso la catena respiratoria sull'ossigeno, accettore finale degli elettroni, si genera l'acido adenosintrifosforico (ATP), composto ricco di energia. Con l'ossidazione di una sola molecola di glucosio si possono formare 36 molecole di ATP. Una volta formato, l'ATP fornisce l'energia necessaria per le numerose attività della cellula.

La diminuzione del fabbisogno dietetico di proteine per unità di peso corporeo (*rettangoli in colore*) è approssimativamente parallela alla variazione della velocità di sintesi di tutte le proteine dell'organismo nei diversi periodi di vita (*rettangoli in grigio*). La prima fase di rapido sviluppo nell'infanzia richiede alti livelli di *turnover* proteici e di somministrazioni di cibo, che si riducono col diminuire della velocità di crescita. (Poiché il 70% o più degli amminoacidi utilizzati nelle sintesi proteiche è fornito dalla degradazione di altre proteine dell'organismo, il fabbisogno alimentare è piccolo rispetto al *turnover*.) I dati per i neonati, i giovani e gli anziani sono stati ottenuti al Centro di ricerche cliniche del MIT (Massachusetts Institute of Technology); quelli per i bambini di un anno sono stati forniti da D. Picou, che lavora in Giamaica.

Si sono rilevate differenze statisticamente significative nel metabolismo proteico di due popolazioni diverse geneticamente e geograficamente studiando la distribuzione delle perdite di azoto con l'orina in giovani alimentati per 12 giorni con una dieta priva di proteine. L'escrezione giornaliera di azoto con l'orina è stata misurata negli ultimi quattro giorni del periodo sperimentale su 83 studenti maschi esaminati al Massachusetts Institute of Technology dagli autori (*curva in nero*) e su 50 studenti esaminati successivamente da P.C. Huang all'Università nazionale di Taiwan (*curva in colore*). Il grafico mostra l'escrezione media di ciascuna popolazione (*frecce verticali*) e la distribuzione delle perdite di azoto con l'orina nei due gruppi.

Anche le vitamine A, D e K sono tossiche ad alte concentrazioni. La ipervitaminosi dovuta a un'eccessiva ingestione di vitamina A, causata di solito da un uso sconsiderato di pillole vitaminiche molto forti, porta a ispessimento della pelle, cefalee e maggiore predisposizione alle malattie.

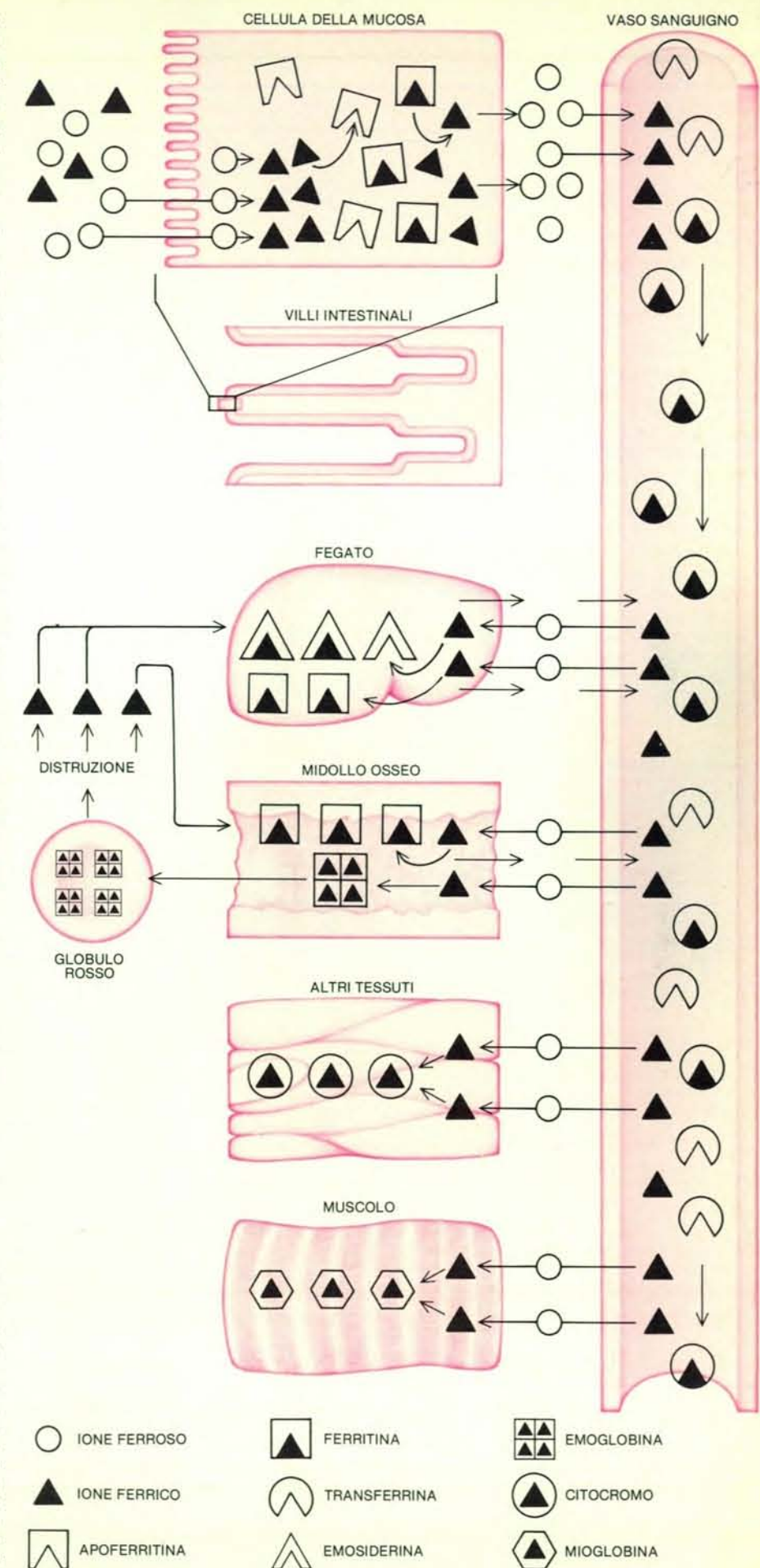
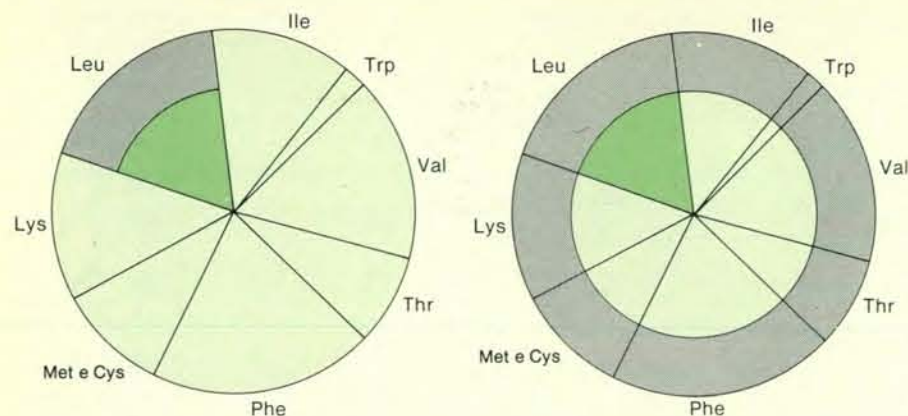
D'altro canto, se la somministrazione di sostanze nutritive è così scarsa da non soddisfare i normali fabbisogni cellulari, all'interno delle cellule e dei tessuti avvengono modificazioni che mirano al mantenimento delle riserve limitate. Questi cambiamenti possono consistere in un assorbimento più efficace delle sostanze nutritive a livello dell'intestino e nell'attivazione di meccanismi biochimici che ne migliorino la ritenzione dopo l'assimilazione. Se l'apporto attraverso la dieta continua a essere insufficiente, questi adattamenti metabolici vengono meno e insorgono malattie da carenze alimentari con sintomi caratteristici che possono portare in certi casi anche alla morte.

Oltre che di sostanze nutritive essenziali, l'organismo richiede un rifornimento di energia, cioè di composti ricchi in energia, il cui contenuto energetico è misurato in calorie. La stima dei fabbisogni di calorie e di sostanze nutritive essenziali è, ovviamente, di grande importanza pratica per l'alimentazione umana, ma occorre dire che è molto più difficile di quanto generalmente si creda. Negli animali da allevamento i fabbisogni minimi delle singole sostanze nutritive possono essere determinati sulla base di certe funzioni produttive, come un rapido accrescimento negli animali produttori di carne, un'alta produzione di latte nelle bovine lattifere e di lana nelle pecore. Non si possono valutare così facilmente le esigenze dell'organismo umano, in quanto il suo benessere è più difficile da misurare. Quali sono i termini di paragone appropriati? Il massimo della forma fisica e della resistenza alle malattie potrebbero sembrare criteri logici per valutare il fabbisogno delle singole sostanze nutritive, ma poiché il benessere fisico non è esattamente misurabile come la crescita degli animali da esperimento, dobbiamo cercare termini di misura più oggettivi.

Alcune sostanze nutritive o i loro prodotti di degradazione vengono eliminati giornalmente con l'orina, le feci e il sudore o vengono persi con la caduta di piccole quantità di pelle e di capelli. Per mantenere l'equilibrio metabolico dello organismo, l'assunzione totale di una sostanza nutritiva col cibo deve essere uguale alla perdita totale. Perciò, calcolando la quantità necessaria a bilanciare quella che l'organismo perde giornalmente, è possibile stimare il minimo fabbisogno metabolico di una data sostanza nutritiva. Per esempio, si misura l'azoto, costituente caratteristico e abbastanza costante delle proteine, per determinare il fabbisogno proteico. Il metodo del bilancio metabolico è stato usato anche per calcolare i fabbisogni di calcio, zinco e magnesio, ma non è adatto per sostanze nutritive che vengono ossidate e il cui carbonio viene eliminato attraverso l'aria espirata, come grassi e vitamine. Il fabbisogno di queste sostanze nutritive si può valutare determinando la quantità minima della sostanza che evita l'insorgere di malattie da carenza alimentare, sebbene questa tecnica abbia limitazioni metodologiche ed etiche.

Anche quando è applicabile, il metodo del bilancio metabolico non ci dice in quale parte dell'organismo viene immagazzinata o utilizzata la sostanza nutritiva; un equilibrio metabolico complessivo si può ottenere somministrando una certa dose della sostanza in esame, ma ciò non significa che i tessuti funzionino nel miglior modo possibile e che si mantenga uno stato di buona salute. Inoltre è difficile fare studi di bilancio metabolico per lunghi periodi di dieta; questi studi richiedono attrezzature complesse e una squadra di ricercatori esperti. L'esigenza di controllare attentamente le quantità di sostanze nutritive introdotte rende necessario un menu giornaliero monotono. Perdite nell'orina e nelle feci (e idealmente nel sudore, nella pelle e nei capelli) devono essere misurate quantitativamente, il che significa ulteriori inconvenienti per i soggetti in esame e problemi tecnici per gli studiosi, soprattutto quando si esaminano neonati, bambini o anziani. Per questi motivi gli studi di bilancio metabolico sono solitamente di breve durata: una settimana o meno nei bambini e due o tre settimane negli adulti. Quale significato abbiano questi brevi periodi di studio per la nutrizione e la salute a lungo termine non si è ancora criticamente appurato, e le nostre attuali valutazioni dei fabbisogni alimentari dell'uomo, basate su studi a breve termine, sono alquanto inadeguate. Questo stato di cose non è soddisfacente.

Nel Department of Nutrition and Food Science del Massachusetts Institute of Technology, lavorando insieme a Edwina E. Murray, studiosa di problemi di alimentazione, e a numerosi medici studenti di corsi di specializzazione, siamo riusciti a completare una serie di studi di bilancio metabolico a lungo termine su studenti attivamente cooperanti e alta-

Il ferro viene liberato dagli alimenti durante la digestione. Nello stato di ossidazione ferroso (Fe^{++}) passa dal lume intestinale nelle cellule della mucosa intestinale, dove viene ossidato alla forma ferrica (Fe^{+++}). Lo ione ferrico si combina poi con la proteina apoferritina per formare la ferritina. La quantità di ferro che si combina nella ferritina in un dato momento aiuta a stabilizzare il livello di ferro nel sangue e protegge le cellule contro la tossicità da ferro. Sulla superficie delle cellule della mucosa lo ione ferrico viene ridotto alla forma ferrosa che entra nei vasi sanguigni dove viene riossidata. Lo ione ferrico si combina poi con la proteina transferrina, che lo trasporta ai vari tessuti. L'escrezione del ferro tocca valori relativamente bassi; il ferro liberato dalla demolizione dell'emoglobina viene riutilizzato per la sintesi dell'emoglobina stessa.

Nove amminoacidi essenziali devono essere presenti contemporaneamente e in rapporti quantitativi corretti per la sintesi proteica. Se uno o più amminoacidi essenziali sono in difetto (*colore intenso*), l'utilizzazione di tutti gli altri amminoacidi presenti nella cellula diminuisce nella stessa proporzione. Gli amminoacidi levogiri non possono essere immagazzinati e vengono metabolizzati per la produzione di energia. Le abbreviazioni indicano: Leu, leucina; Val, valina; Phe, fenilalanina; Thr, treonina; Ile, isoleucina; Lys, lisina; Met, metionina; Cys, cisteina; Trp, triptofano.

mente motivati. Su questi soggetti, che hanno accettato diete monotone e hanno seguito stretti regimi, è stata effettuata la raccolta giornaliera completa di orine e feci per periodi fino a 100 giorni, tempo notevolmente più lungo del solito periodo di bilancio di 14-21 giorni.

In uno di questi studi, sei soggetti volontari si sottoposero a una dieta che forniva proteine in quantità uguale a quella consigliata nel 1973 da un comitato congiunto di esperti, della Food and Agriculture Organization e dalla World Health Organization, che si era occupato dei fabbisogni energetici e proteici. Tre mesi di misure di metabolismo su quei soggetti misero in evidenza una diminuzione del peso corporeo e delle masse muscolari e/o variazioni nel metabolismo del fegato. Questi risultati indicano che studi di bilancio metabolico a breve termine non possono costituire da soli un criterio per valutare il fabbisogno proteico dell'uomo e che le raccomandazioni attuali sulla somministrazione di proteine con la dieta sono inadeguate se riferite ad ampie popolazioni. Sebbene i nostri studi di bilancio metabolico abbiano comportato periodi di diete sperimentali notevolmente più lunghi di quelli impiegati dalla FAO-WHO, resta il fatto che i soggetti utilizzati per gli esperimenti sono pochi e limitati a maschi americani di condizioni privilegiate, e che la durata dello studio è ancora molto breve.

Per qualcuna delle sostanze nutritive essenziali non è stato seguito alcuno di questi metodi, e sono disponibili soltanto vaghi dati epidemiologici. In questi casi dobbiamo basarci principalmente su dati ottenuti mediante esperimenti su animali ed estrapolare cautamente i risultati all'uomo, oppure tentare di valutare il consumo di gruppi ben nutriti e considerarlo un livello adatto e sufficiente di alimentazione.

Le numerose difficoltà incontrate nella determinazione dei fabbisogni di sostanze nutritive di un individuo si combinano con il problema di determinare come varia il fabbisogno di quell'individuo nel tempo, e con la variabilità riscontrata fra diversi individui. È facile stabilire che condizioni fisiologiche come la crescita, la gravidanza, l'allattamento richiedono sostanze nutritive in quantità maggiori di quelle necessarie a persone adulte sane per il proprio semplice mantenimento. È molto più difficile misurare le sottili variazioni nei fabbisogni delle persone anziane, problema che viene spesso complicato dagli effetti cumulativi di malattie sia acute sia croniche, che possono influire sui fabbisogni delle sostanze nutritive interferendo con l'assorbimento o l'utilizzazione di queste.

La conoscenza dei fabbisogni alimentari dei neonati e dei bambini è anch'essa incerta. I ricercatori tendono a considerare questi individui come piccoli adulti, e, tenuto parzialmente conto della loro crescita, a calcolare i loro fabbisogni proporzionalmente al peso sulla base degli studi fatti su individui adulti. Questo modo di operare non tiene conto delle variazioni che intervengono in rapporto all'età nell'attività metabolica delle cellule e nella velocità di *turnover* delle sostanze nutritive. Riguardo alle proteine, studi compiuti nel nostro laboratorio dimostrano che i neonati presentano alte velocità di *turnover* che diminuiscono rapidamente durante le prime settimane e i primi mesi dell'infanzia. Dopo, la diminuzione è meno rapida, ma continua probabilmente col passare del tempo anche nell'età adulta.

Ci sono variazioni anche nei fabbisogni alimentari di individui della stessa età, sesso e stato fisiologico a causa dell'interazione di fattori genetici e ambientali. Importanti sono le variazioni dei fabbisogni alimentari dovute alla espressione reale dei geni dell'individuo, piuttosto che alla espressione potenziale dei geni in circostanze ideali. Per esempio, in Giappone c'è stato un aumento della

Si può avere un effetto complementare tra proteine diverse quando una proteina «di qualità inferiore» contenente alcuni amminoacidi essenziali in quantità insufficiente e altri in quantità sufficiente viene combinata con un'altra proteina avente caratteristiche opposte. Se i due tipi di proteine vengono ingeriti insieme o entro un breve periodo di tempo, l'insieme può produrre un bilancio complessivo di amminoacidi paragonabile a quello di una proteina «di buona qualità» ingerita da sola. La linea tratteggiata indica il 100% del contenuto in amminoacidi essenziali di una proteina standard ritenuta da un comitato di esperti della Food and Agriculture Organization e della World Health Organization la più adatta a soddisfare i fabbisogni dell'uomo.

statura degli adulti durante gli ultimi 30 anni, in seguito all'espressione di una frazione progressivamente crescente dell'intero potenziale genico dovuta a un miglioramento delle condizioni dietetiche e ambientali.

La mancanza di dati sulle popolazioni di diversi paesi costituisce un problema per la conoscenza delle variazioni da attribuire ai fabbisogni alimentari di individui normali. In una ricerca, al Massachusetts Institute of Technology, abbiamo sottoposto per 12 giorni un certo numero di studenti a una dieta priva di proteine ma per il resto completa, allo scopo di valutare il livello minimo di escrezione di azoto, cioè la cosiddetta quota di logorio. I valori medi dell'azoto presente nell'orina erano notevolmente più alti di quelli successivamente trovati in studenti universitari di Taiwan, esaminati in condizioni analoghe da P.C. Huang dell'Università nazionale di Taiwan. Non sappiamo se questa diversità sia dovuta a differenze genetiche o a fattori ambientali e sperimentali, ma la disparità riscontrata è un dato di fatto indiscutibile e dimostra chiaramente la necessità di un gran numero di studi comparativi sul metabolismo delle sostanze nutritive e sulle esigenze di popolazioni di ambienti diversi dal punto di vista geografico, culturale e genetico.

Il fabbisogno di sostanze nutritive dipende anche da numerosi fattori ambientali, che possono essere fisici (per esempio la temperatura media ambientale), biologici (la presenza di organismi infettivi e di altri parassiti), o sociali (l'attività fisica, il tipo di abbigliamento, le condizioni sanitarie, l'igiene personale e così via). I fattori ambientali possono influenzare le condizioni di nutrizione modificando direttamente le esigenze alimentari oppure influenzando la produzione e la disponibilità di cibo e il suo consumo.

I più importanti fattori dietetici che influenzano il fabbisogno di sostanze nutritive sono tre. Il primo consiste nel fatto che la forma in cui una sostanza è presente nel cibo può avere un effetto significativo sul suo grado di assorbimento e di utilizzazione. Per esempio, il fatto che l'assorbimento di ferro dagli alimenti vegetali sia relativamente scarso

ALIMENTI	AMMINOACIDI ESSENZIALI		UTILIZZAZIONE NETTA DELLE PROTEINE (PERCENTUALI) 0 25 50 75 100
	SCARSI	SUFFICIENTI	
PRODOTTI DI LATTERIA			
UOVA	—	Trp, Lys, Met, Cys	
LATTE DI VACCA	—	Trp, Lys	
FORMAGGIO CASERECCIO	—	Lys	
FORMAGGIO SVIZZERO	—	Lys	
CARNI			
PESCE	—	Lys	
TACCHINO	—	Lys	
MAIALE	—	Lys	
MANZO	—	Lys	
POLLO	—	Lys	
AGNELLO	—	Lys	
VERDURE			
GRANOTURCO	Trp, Lys	—	
ASPARAGI	Met, Cys	—	
BROCCOLI	Met, Cys	—	
CAVOLFIORE	Met, Cys	Trp, Lys	
PATATE	Met, Cys	Trp	
CAVOLO RICCIO	Lys, Met, Cys	—	
PISELLI	Met, Cys	Lys	
CEREALI			
RISO INTEGRALE	Lys	—	
GERME DI GRANO	Trp	Lys	
FARINA D'AVENA	Lys	—	
CHICCHI DI GRANO	Lys	—	
SEGALE	Trp, Lys	—	
RISO BRILLATO	Lys, Thr	Trp	
MIGLIO	Lys	Trp, Met, Cys	
PASTA	Lys, Met, Cys	—	
LEGUMI			
SOIA	Met, Cys, Val	Lys, Trp	
FAGIOLI DI LIMA	Met, Cys	Trp, Lys	
FAGIOLI	Trp, Met, Cys	Lys	
LENTICCHIE	Trp, Met, Cys	Lys	
SEMI VARI			
SEMI DI GIRASOLE	Lys	Trp	
SEMI DI SESAMO	Lys	Trp, Met, Cys	
ARACHIDI	Lys, Met, Cys, Thr	—	

I valori di utilizzazione netta delle proteine sono un indice della «qualità», o valore nutritivo, delle proteine di differenti fonti alimentari. Tali valori sono espressi dalle percentuali degli amminoacidi ingeriti con le proteine che vengono trattenuti nell'organismo e incorporati in proteine cellulari. Le proteine delle uova, insieme a quelle del latte e della maggior parte delle carni, posseggono tutti gli amminoacidi essenziali in ottimi rapporti, e la loro utilizzazione netta da parte dell'organismo è di conseguenza alta. I legumi, d'altro canto, sono carenti di uno o più dei nove amminoacidi essenziali; ciò riduce notevolmente la percentuale di amminoacidi totali disponibili per le sintesi proteiche, e ne derivano bassi valori di utilizzazione netta.

La vitamina D viene ingerita con alcuni alimenti o anche sintetizzata nella pelle grazie all'azione delle radiazioni solari sullo steroide, a essa strettamente affine, 7-deidrocolesterolo. Le funzioni della vitamina dipendono dalla sua trasformazione nella forma attiva 1,25-diidrossi-vitamina D, che avviene attraverso due reazioni catalizzate da enzimi, una nel fegato e l'altra nel rene. L'ormone delle paratiroidi (PTH) serve a regolare la sintesi della forma attiva della vitamina, e insieme alla vitamina stessa agisce sulla mobilizzazione del calcio dalle ossa. Oltre a ciò, la vitamina diidrossilata stimola da sola l'assorbimento del calcio a livello dell'intestino tenue.

è uno dei fattori più importanti nel determinare il fabbisogno totale di ferro nell'uomo. Il ferro ferroso (ferro ridotto, come nel solfato ferroso o nel ferro elementare finemente suddiviso) è assorbito più efficacemente del ferro ferrico (come nel cloruro ferrico o nel pirofosfato ferrico). Anche il ferro ferroso, comunque, è assorbito meno efficacemente quando è ingerito insieme a fitati e ossalati, che si trovano nelle verdure verdi e nel pane integrale non lievitato che si consuma nell'Africa settentrionale e nel Medio Oriente. Il ferro presente nella carne (ferro emico) viene assorbito meglio del ferro di origine vegetale, e piccole quantità di carne rossa migliorano notevolmente l'assorbimento totale di ferro.

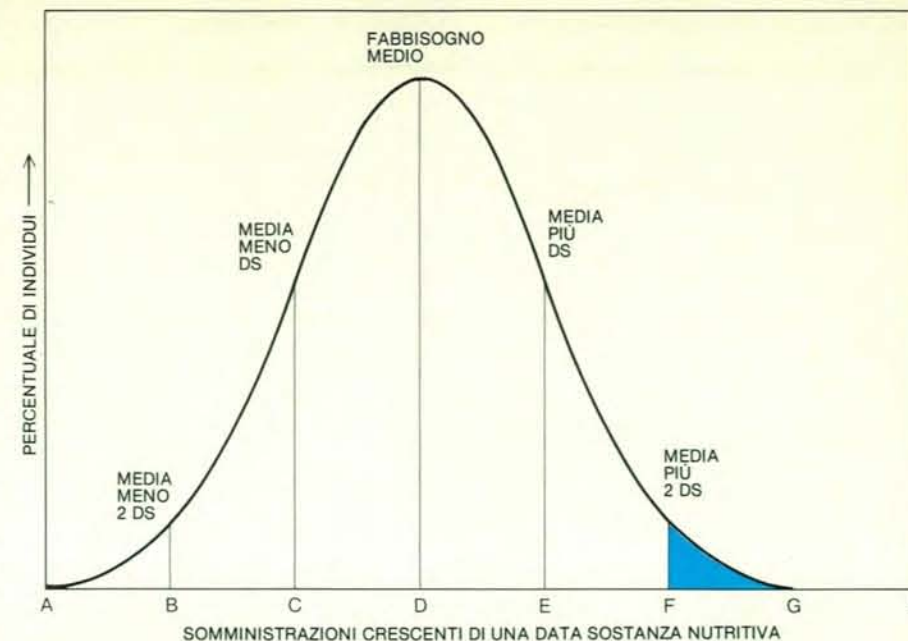
Il secondo fattore importante che influenza i fabbisogni alimentari consiste nel fatto che la presenza o l'assenza di una sostanza nutritiva influisce spesso sull'utilizzazione di un'altra. Per esempio, quando vi è carenza di proteine nella dieta, le due proteine implicate nel trasporto della vitamina A non vengono sintetizzate dal fegato in quantità adeguata. La forma esterificata della vitamina si accumula nel fegato e non è disponibile per gli altri tessuti dell'organismo. Possono quindi apparire segni di carenza da vitamina A, anche se l'ingestione della vitamina (o del suo precursore beta-carotene, presente in alimenti di origine vegetale) sarebbe sufficiente qualora la nutrizione proteica fosse adeguata.

Il terzo fattore consiste nella presenza nell'intestino crasso dell'uomo di batteri che vivono di molecole organiche non assorbite a livello dell'intestino tenue. Durante le loro attività metaboliche questi batteri fabbricano vitamine che l'ospite assorbe: si tratta di una benefica simbiosi mutualistica. In questo modo vengono sintetizzate la vitamina K, la cui carenza influisce negativamente sulla coagulazione del sangue, e piccole quantità di alcune vitamine del gruppo B.

I fattori che influenzano l'adeguatezza della dieta proteica per un individuo possono essere ancora più complessi. In primo luogo il fabbisogno normale non riguarda le proteine in sé, ma, a seconda dell'età, circa 9 o 10 amminoacidi essenziali che devono essere presenti in quantità adeguate e in rapporti appropriati. Il fatto che un amminoacido sia utilizzato per la sintesi di nuove proteine o sia degradato per liberare energia (processo distruttivo) dipende da un certo numero di fattori. In primo luogo tutti gli amminoacidi essenziali devono essere contemporaneamente presenti nel mezzo cellulare per i processi di sintesi proteica: se un dato amminoacido è presente in quantità limitata, le proteine possono formarsi fintanto che dura la scorta di quell'amminoacido (chiamato amminoacido limitante); se viene a mancare un amminoacido essenziale, gli altri non possono essere immagazzinati per le sintesi successive e vengono metabolizzati per produrre energia.

Anche la quantità di calorie d'origine non proteica è importante nella dieta. Se è maggiore del necessario, le proteine ingerite non vengono demolite per soddisfare esigenze energetiche, però l'individuo tende a ingrassare. Se è bassa, alcune proteine verranno utilizzate per soddisfare esigenze energetiche e non saranno disponibili per l'effettivo fabbisogno proteico dell'organismo. Talvolta si crede, erroneamente, che non valga la pena di migliorare il contenuto proteico di una dieta quando l'assunzione calorica è carente. Ricerche condotte da noi su individui giovani indicano miglioramenti nella ritenzione delle proteine anche in caso di scarsa somministrazione di energia. Sono necessarie anche fonti aspecifiche di azoto adeguate affinché gli amminoacidi non essenziali e altri composti azotati metabolicamente importanti vengano sintetizzati nell'organismo.

Le diverse proteine differiscono tra loro per la quantità e il tipo di amminoacidi essenziali che contengono. Fonti di proteine «complete» dal punto di vista nutritivo, come la carne, le uova, o il latte, forniscono gli amminoacidi essenziali in quantità sufficiente a soddisfare i fabbisogni dell'organismo per il proprio mantenimento e accrescimento. Una proteina di bassa qualità o «incompleta» da un punto di vista nutritivo, come la zeina del mais, priva degli amminoacidi triptofano e lisina, non può sostenere il mantenimento né la crescita. Una proteina di qualità leggermente migliore, come la gliadina del frumento, fornisce lisina in quantità sufficiente per il mantenimento ma non per la crescita. Le proteine di origine vegetale generalmente contengono quantità insufficienti di uno o più amminoacidi essenziali. Il contenuto di lisina e treonina nei cereali è generalmente basso, e il mais è carente anche di triptofano. I legumi costituiscono buone fonti di lisina ma presentano scarse quantità degli amminoacidi contenenti zolfo, cioè di metionina e cisteina; le verdure verdi contengono tutti gli amminoacidi essenziali, a eccezione della metionina, in rapporti soddisfacenti.

Nonostante queste insufficienze dei singoli alimenti è possibile, combinando diverse fonti proteiche, preparare pasti contenenti gli amminoacidi essenziali in rapporti accettabili. In generale, i cereali, carenti in lisina, sono completati dai legumi, carenti in metionina. Ogni civiltà ha sviluppato le proprie associazioni di proteine complementari. Nel Medio Oriente il pane di frumento, privo di quantità sufficienti di lisina, viene mangiato insieme al formaggio, che presenta un alto contenuto di lisina. I messicani si cibano di riso e di fagioli, i giamaicani di riso e di piselli, gli indiani di frumento e di legumi, e la prima colazione degli americani è a base di cereali e di latte. Questo genere di integrazione, soprattutto nei neonati e nei bambini in sviluppo, è comunque efficace solo quando le proteine incomplete e complementari vengono ingerite insieme, oppure separatamente ma nel giro di poche ore.

La distribuzione del fabbisogno di sostanze nutritive in una ipotetica popolazione di individui sani presenta una forma a campana. *D* è il fabbisogno medio della popolazione. L'unità statistica di variazione dalla media è la deviazione standard (DS), che si calcola dalla somma dei quadrati di ogni singolo valore di scostamento, meno il quadrato del valore medio, diviso per la radice quadrata del numero totale di osservazioni. Un quantitativo uguale a *F*, ottenuto aggiungendo due deviazioni standard al valore medio, soddisfa il fabbisogno di quasi tutti (97,5%) gli individui di questa popolazione. La zona colorata mostra la piccola minoranza di individui sani (2,5%) per i quali non è sufficiente neppure il quantitativo indicato in *F*. Questo schema di ricerca è stato seguito da comitati internazionali per valutare le dosi dietetiche.

Infezioni acute o croniche o altre malattie che alterino le funzioni gastrointestinali fanno aumentare il fabbisogno dietetico di proteine, in quanto provocano una diminuzione del loro assorbimento. Traumi, ansietà, paure e altre cause di stress hanno un effetto ancora maggiore nell'alterare il fabbisogno proteico. Lo stress fa aumentare la demolizione delle proteine muscolari rispetto alla loro sintesi, provocando il trasporto degli amminoacidi dai muscoli e dai tessuti periferici al fegato, dove vengono trasformati in glucosio per scopi energetici. Questo processo crea un deficit nel contenuto proteico dell'organismo, che deve essere compensato da un aumento di ritenzione di proteine durante il periodo di recupero.

In seguito a qualsiasi infezione, anche a immunizzazioni con vaccini a base di virus vivi, si verifica una perdita di appetito che porta a una diminuzione della quantità di cibo ingerita. Le conseguenze metaboliche di infezioni acute sono state documentate molto ampiamente da William R. Beisel e collaboratori presso l'Army Medical Research Institute of Infectious Diseases. I primi cambiamenti sono dati da un aumento della sintesi di anticorpi e di altre proteine caratteristiche di forme acute, seguito da risposte cataboliche consistenti in maggiori perdite di azoto (di provenienza proteica), vitamina A, vitamina C, ferro e zinco, e probabilmente anche di altre sostanze nutritive.

La malattia può anche alterare direttamente i meccanismi che controllano il metabolismo delle sostanze nutritive essenziali, alterando così i fabbisogni dietetici delle sostanze stesse. La conversione della vitamina D nella forma metabolicamente attiva, per esempio, dipende dall'attività del fegato e dei reni. Se i reni si ammalano, la normale utilizzazione della vitamina viene compromessa. È per questa ragione che molti individui sofferenti di malattie renali mostrano anormalità scheletriche simili a quelle che si riscontrano nel rachitismo, malattia da carenza di vitamina D. Quando una forma sintetica del derivato attivo della vitamina viene somministrata a questi ammalati, si può notare un notevole miglioramento.

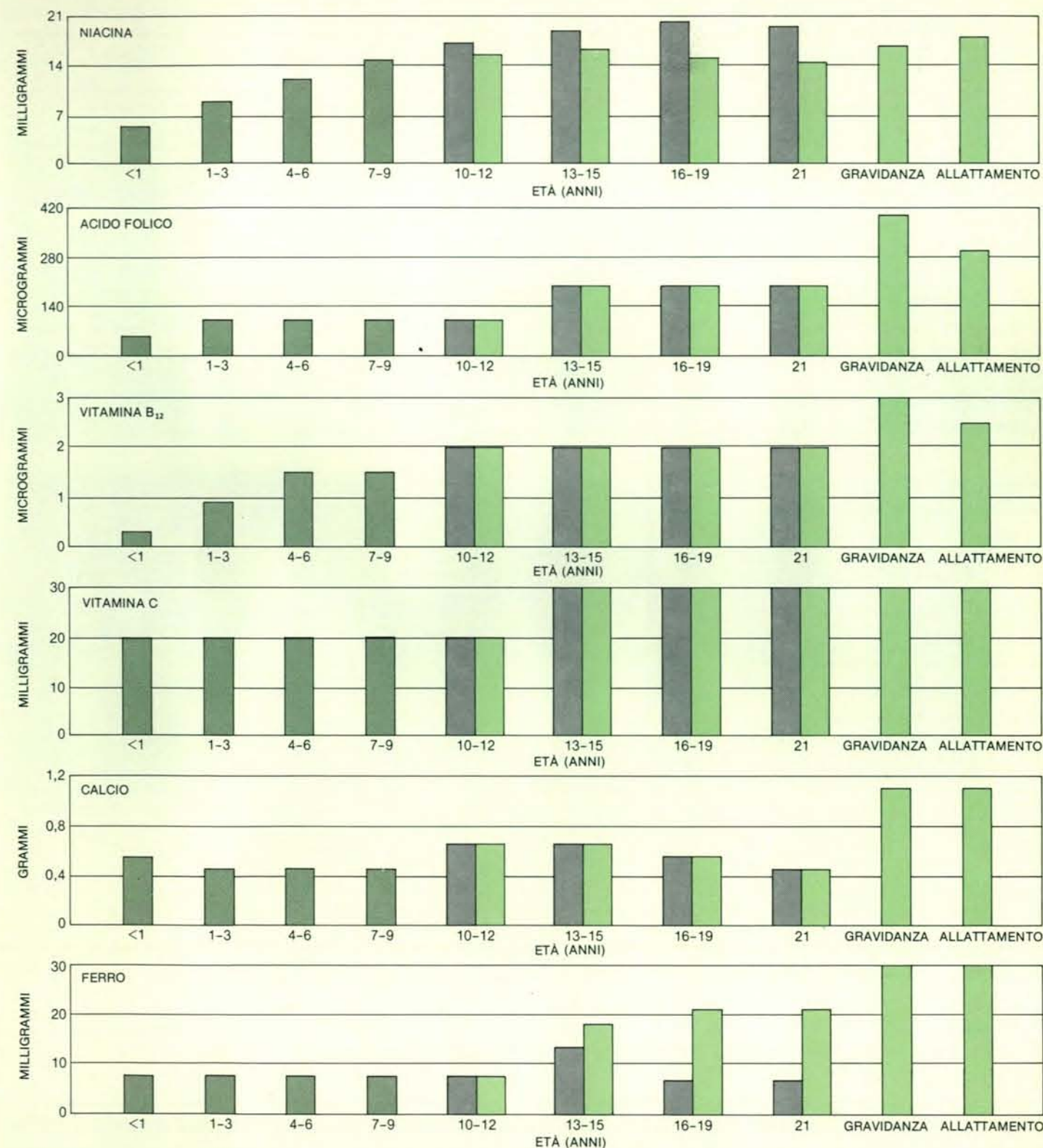
L'assorbimento di sostanze nutritive diminuisce tutte le volte che lo stomaco o l'intestino sono affetti da gravi infezioni acute o croniche, dalla presenza di parassiti intestinali in gran numero, o nella malaria (che interferisce con la circolazione mesenterica). Le infezioni croniche e le infestazioni da parassiti possono incrementare anche in altri modi il fabbisogno di sostanze nutritive. L'anemia da carenza di ferro può instaurarsi anche con una dieta adeguata nei casi in cui vi siano perdite di sangue dall'intestino dovute ad anchilostomiasi, schistosomiasi e ad alcune infezioni da protozoi. In certi paesi dell'Europa settentrionale, dove l'usanza di mangiare pesce crudo porta facilmente a infestazioni da tenie, si instaurano spesso, in individui infestati, malattie da carenza di vitamina B_{12} in quanto il parassita consuma notevoli quantità di questa vitamina.

Per queste ragioni i bambini dei paesi

in via di sviluppo, che sono soggetti a infezioni intestinali, respiratorie e di altro tipo che accrescono i fabbisogni nutritivi, avendo nello stesso tempo una dieta povera sono particolarmente predisposti a contrarre gravi malattie. Il modo migliore di affrontare questi problemi di salute pubblica dovrebbe essere quello di eliminare le infezioni piuttosto che di fornire le quantità extra di sostanze nutritive richieste da tali condizioni, ma ciò spesso non è possibile per mancanza di risorse o per motivi sociali.

Tutte queste cause di variabilità dei fabbisogni alimentari rendono impossibile la formulazione di valori precisi di fabbisogno sia a livello di individui sia a livello di popolazioni. Le quantità di sostanze nutritive devono essere piuttosto considerate statisticamente, basandosi sull'ipotesi che i diversi valori individuali nei confronti di una data sostanza nutritiva siano distribuiti secondo una curva a campana intorno al valore medio per la popolazione in esame.

Non è pratico cercare di dare consigli sufficienti a soddisfare il cento per cento di una popolazione, poiché questo porterebbe a un grado di alimentazione molto maggiore di quanto occorra alla maggior parte delle persone. Ci saranno sempre in una popolazione alcuni individui normali che necessitano di una sostanza nutritiva in quantità maggiori di quelle consigliate in una pratica razione dietetica, e un numero più piccolo le cui anormalità metaboliche accrescono in modo notevole i fabbisogni. Infine le dosi giornaliere consigliate sono dirette a soddisfare solo individui sani e spesso non sono adatte a persone sofferenti di malattie acute o croniche.

La maggiore limitazione dell'uso pratico delle dosi giornaliere consigliate consiste nel fatto che esse sono basate su dati provenienti da campioni piccoli e magari poco rappresentativi, i cui dati vengono estesi a popolazioni di ogni tipo. Nei paesi in via di sviluppo, dove è probabile che una percentuale elevata della popolazione soffra di varie malattie, il peso e la statura dei bambini sono molto ridotti in rapporto all'età in segui-

Le dosi giornaliere consigliate di energia, di proteine, di certe vitamine e minerali qui riportate sono state concordate da un comitato di esperti della FAO-WHO nel 1974. I fabbisogni variano notevolmente con l'età, e quelli dei maschi (*rettangoli in grigio*) differiscono in modo significativo da quelli delle femmine (*rettangoli in colore*). Le dosi consigliate non hanno valore assoluto per gli individui; possono venir applicate solo a popolazioni ragionevolmente sane e potranno essere soggette a revisione col progredire delle conoscenze.

to agli effetti combinati di ripetute infezioni e di malnutrizione. Poiché anche le misure corporee degli adulti sono ridotte, ne consegue che le tabelle di nutrizione calcolate in base all'età e per popolazioni ben nutrite sono probabilmente più abbondanti del necessario e la stima del fabbisogno calorico può essere eccessiva. Perciò è preferibile, nei paesi in via di sviluppo, calcolare le dosi per adulto riferite ai chilogrammi di peso corporeo.

Le dosi per chilogrammo non sono comunque sufficienti per i bambini con crescita ostacolata da malnutrizione e malattie. Tali dosi sarebbero troppo scarse per riguadagnare il massimo della crescita e manterrebbero i bambini nella condizione di alimentazione insufficiente nella quale si trovano. Nei paesi in cui è comune tra i bambini il nanismo da alimentazione insufficiente un compromesso sta nel valutare il fabbisogno specifico dei piccoli sulla base delle dosi per chilogrammo, con l'aggiunta di una modesta dose extra per il recupero delle deficienze di accrescimento.

Quando in una popolazione prevalgono infezioni acute, bisogna somministrare dosi extra per i periodi di convalescenza dell'individuo, sebbene, in seguito alla minore ingestione di cibo nella fase acuta della malattia e alla maggior ritenzione di alcune sostanze nutritive nei soggetti sfibrati, le esigenze alimentari complessive del gruppo colpito dall'infezione possano essere variate di poco. Dosi dietetiche maggiori possono nondimeno essere necessarie per compensare le perdite continue e abbondanti di sostanze nutritive o la peggiore assimilazione che si verificano in presenza di parassiti intestinali e in casi di malattie croniche.

In conclusione, le dosi consigliate non possono servire come indicatori assoluti dell'adeguatezza di una data somministrazione di cibo a un dato individuo. Possono essere legittimamente applicate solo a una popolazione ragionevolmente

AMMINOACIDI ESSENZIALI	DOSI GIORNALIERE CONSIGLIATE PER UN MASCHIO ADULTO SANO (MILLIGRAMMI)	FONTI DIETETICHE	PRINCIPALI FUNZIONI NELL'ORGANISMO	CARENZA	ECCESSO
AROMATICI		DA PROTEINE FONTI BUONE Legumi Prodotti di latteria Carne Pesce FONTI SUFFICIENTI Riso Granoturco Frumento FONTI SCARSE Manioca Patata dolce	Precursori di proteine strutturali, enzimi, anticorpi, ormoni, composti metabolicamente attivi Alcuni amminoacidi hanno funzioni specifiche: (a) La tirosina è un precursore dell'adrenalina e della tiroxina (b) L'arginina è un precursore delle poliammine (c) La metionina è necessaria per il metabolismo del gruppo metilico (d) Il triptofano è un precursore della serotonina	Una scarsa assunzione di proteine porta a fenomeni di carenza (kwashiorkor) e, associata a una bassa somministrazione di energia, a grave deperimento	Una eccessiva assunzione di proteine può aggravare stati patologici cronici
FENILALANINA	1100				
TIROSINA					
BASICI					
LISINA	800				
ISTIDINA	Ignota				
A CATENA RAMIFICATA					
ISOLEUCINA	700				
LEUCINA	1000				
VALINA	800				
CONTENENTI ZOLFO					
METIONINA	1100				
CISTEINA					
ALTRI					
TRIPTOFANO	250				
TREONINA	500				
ACIDI GRASSI ESSENZIALI					
AC. ARACHIDONICO	6000	Grassi vegetali (olio di mais, olio di semi, olio di soia) Germe di grano Grassi vegetali per pasticceria	Implicati nella struttura e nelle funzioni della membrana cellulare Precursori delle prostaglandine (regolazione della funzione gastrica, liberazione di ormoni, attività della muscolatura liscia)	Accrescimento scarso Lesioni della pelle	Ignoto
AC. LINOLEICO					
AC. LINOLENICO					

Gli amminoacidi e gli acidi grassi essenziali non possono essere sintetizzati nell'organismo e devono trovarsi negli alimenti. Gli amminoacidi sono le unità costitutive delle proteine; gli acidi grassi essenziali sono implicati nel mantenimento della struttura e delle funzioni della membrana cellulare e servono come precursori delle prostaglandine, composti che hanno diverse attività fisiologiche.

VITAMINE	DOSI GIORNALIERE CONSIGLIATE PER UN MASCHIO ADULTO SANO (MILLIGRAMMI)	FONTI DIETETICHE	PRINCIPALI FUNZIONI NELL'ORGANISMO	CARENZA	ECCESSO
IDROSOLUBILI					
VITAMINA B_1 (TIAMINA)	1,5	Maiale, frattaglie, cereali integrali, legumi	Coenzima (tiamina pirofosfato) nelle reazioni implicanti la rimozione di anidride carbonica	Beri-beri (lesioni al tessuto nervoso, edema, insufficienza cardiaca)	Non riscontrato
VITAMINA B_2 (RIBOFLAVINA)	1,8	Molto diffusa negli alimenti	Costituente di due coenzimi flavin-nucleotidici implicati nel metabolismo energetico (FAD e FMN)	Labbra arrossate, spaccature agli angoli della bocca (cheilosi), lesioni agli occhi	Non riscontrato
NIACINA	20	Fegato, carni magre, cereali, legumi (si può formare dal triptofano)	Costituente di due coenzimi implicati in reazioni di ossido-riduzione (NAD e NADP)	Pellagra (lesioni epidermiche e gastrointestinali, disordini nervosi e mentali)	Rossore, bruciore e prurito attorno al collo, viso e mani
VITAMINA B_6 (PIRIDOSSINA)	2	Carni, verdure, cereali a grano intero	Coenzima (piridossal-fosfato) implicato nel metabolismo degli amminoacidi	Irritabilità, convulsioni, contratture muscolari, dermatiti vicino agli occhi, calcoli renali	Non riscontrato
ACIDO PANTOTENICO	5-10	Molto diffusa negli alimenti	Costituente del coenzima A, che ha un ruolo fondamentale nel metabolismo energetico	Affaticamento, sonno agitato, danni alla coordinazione, nausea (rara nell'uomo)	Non riscontrato
ACIDO FOLICO	0,4	Legumi, verdure verdi, prodotti integrali del frumento	Coenzima (forma ridotta) implicato nel trasferimento di singoli atomi di carbonio nel metabolismo degli acidi nucleici e degli amminoacidi	Anemia, disturbi gastrointestinali, diarrea, lingua arrossata	Non riscontrato
VITAMINA B_{12}	0,003	Polpa, uova, prodotti di latteria (non presente nei cibi vegetali)	Coenzima implicato nel trasferimento di singoli atomi di carbonio nel metabolismo degli acidi nucleici	Anemia perniciosa, disturbi nervosi	Non riscontrato
BIOTINA	Non stabilita. La dieta di solito ne fornisce 0,15-0,3	Legumi, verdure, carni	Coenzima necessario per la sintesi dei grassi, il metabolismo degli amminoacidi e la formazione del glicogeno (amido animale)	Affaticamento, depressione, nausea, dermatiti, dolori muscolari	Non riscontrato
COLINA	Non stabilita. La dieta di solito ne fornisce 500-900	Tutti i cibi contenenti fosfolipidi (rosso d'uovo, fegato, granaglie, legumi)	Costituente dei fosfolipidi. Precursore dell'acetilcolina, mediatore della trasmissione dell'impulso nervoso	Non riportata nell'uomo	Non riscontrato
VITAMINA C (ACIDO ASCORBICO)	45	Agrumi, pomodori, peperoni, insalate verdi	Mantiene la matrice intercellulare di cartilagine, ossa e dentina. Importante nella sintesi del collageno	Scorbuto (degenerazione della pelle, denti, vasi sanguigni, emorragie epiteliali)	Relativamente non tossico. Possibilità di calcoli renali
LIPOSOLUBILI					
VITAMINA A (RETINOLO)	1	Provitamina A (beta-carotene) molto diffusa nelle verdure verdi. Retinolo presente in latte, burro, formaggio, margarina arricchita	Costituente della rodopsina (pigmento visivo). Mantenimento dei tessuti epiteliali. Agisce nella sintesi dei mucopolisaccaridi	Xeroftalmia (cheratinizzazione dei tessuti oculari), emeralopia (cecità crepuscolare), cecità permanente	Cefalea, vomito, scorticature della pelle, anoressia, alterazioni delle ossa lunghe
VITAMINA D	0,01	Olio di fegato di merluzzo, uova, prodotti di latteria, latte e margarina arricchiti	Promuove la crescita e la mineralizzazione delle ossa. Fa aumentare l'assorbimento del calcio	Rachitismo (deformazioni delle ossa) nei bambini. Osteomalacia negli adulti	Vomito, diarrea, perdita di peso, danni ai reni
VITAMINA E (TOCOFEROLO)	15	Semi, verdure verdi, margarina, grassi per pasticceria	Funziona da antitossico per prevenire danni alla membrana cellulare	Eventuale anemia	Relativamente non tossico
VITAMINA K (FILLOCHINONE)	0,03	Verdure verdi. Piccole quantità in cereali, frutta e carni	Importante nella coagulazione del sangue (implicata nella formazione della protrombina attiva)	Carenze condizionate associate a gravi emorragie esterne ed interne	Relativamente non tossico. Alte dosi di preparati sintetici possono causare itterizia

Le vitamine sono molecole organiche che devono essere presenti in piccole quantità nella dieta degli animali superiori. La maggior parte delle vitamine idrosolubili (complesso B) fungono da coenzimi, o da catalizzatori organici; le quattro vitamine iposolubili (A, D, E, e K) hanno più funzioni diverse. Una scarsa somministrazione, e talvolta anche un eccesso, di vitamine possono produrre effetti dannosi.

sana. Nonostante questi limiti, comunque, le stime del fabbisogno calorico e le dosi consigliate di sostanze nutritive essenziali hanno la loro ragione d'essere, poiché servono da guida per la formulazione di diete per i singoli individui, per la valutazione dell'adeguatezza relativa delle diete per le popolazioni, per la preparazione di programmi di educazione alimentare, per la progettazione di piani statali di intervento sull'alimentazione.

Per nessun aspetto della salute umana l'approfondimento delle ricerche è più urgente di quanto sia per i bisogni alimentari di popolazioni rappresentative di tutte le condizioni di salute. Una conoscenza adeguata della quantità e del tipo di cibo richiesti dall'uomo è fondamentale per una politica di pianificazione degli alimenti e della nutrizione e avrà enorme importanza per il futuro.

MINERALI	QUANTITÀ NELL'ADULTO (GRAMMI)	DOSI GIORNALIERE CONSIGLIATE (MILLIGRAMMI)	FONTI DIETETICHE	PRINCIPALI FUNZIONI NELL'ORGANISMO	CARENZA	ECCESSO
CALCIO	1500	800	Latte, formaggio, verdure verdi, legumi secchi	Formazione delle ossa e dei denti. Coagulazione del sangue. Trasmissione nervosa	Crescita limitata. Rachitismo, osteoporosi. Convulsioni	Non riscontrato nell'uomo
FOSFORO	860	800	Latte, formaggio, carne, pollame, granaglie	Formazione delle ossa e dei denti. Equilibrio acido-base	Debolezza, demineralizzazione delle ossa. Perdita di calcio	Alterazioni mascellari
ZOLFO	300	(Fornito dagli amminoacidi contenenti zolfo)	Amminoacidi contenenti zolfo (metionina e cisteina) nelle proteine della dieta	Costituente di composti attivi nei tessuti, cartilagine e tendini	Dipende dalla ingestione e carenza di amminoacidi contenenti zolfo	Un'eccessiva ingestione di amminoacidi contenenti zolfo porta a crescita scarsa
POTASSIO	180	2500	Carni, latte, molti frutti	Equilibrio acido-base. Bilancio idrico dell'organismo. Attività dei nervi	Debolezza muscolare. paralisi	Debolezza muscolare. Morte
CLORO	74	2000	Sale comune	Formazione del succo gastrico. Equilibrio acido-base	Crampi muscolari. Apatia mentale. Scarso appetito	Vomito
SODIO	64	2500	Sale comune	Equilibrio acido-base. Bilancio idrico dell'organismo. Attività dei nervi	Crampi muscolari. Apatia mentale. Scarso appetito	Pressione sanguigna alta
MAGNESIO	25	350	Granaglie integrali, verdure verdi	Attivatore di enzimi. Implicato nella sintesi proteica	Crescita insufficiente. Disturbi di comportamento. Debolezza, spasmi	Diarrea
FERRO	4,5	10	Uova, carni magre, legumi, granaglie integrali, verdure verdi	Costituente dell'emoglobina e di enzimi implicati nel metabolismo energetico	Anemia da carenza di ferro (debolezza, minore resistenza alle infezioni)	Siderosi. Cirrosi epatica
FLUORO	2,6	2	Acqua potabile, tè, prodotti del mare	Può essere importante per il mantenimento delle strutture ossee	Maggiore frequenza di caduta di denti	Screziature dei denti. Aumento della densità ossea. Disturbi nervosi
ZINCO	2	15	Molto diffuso negli alimenti	Costituente di enzimi implicati nella digestione	Crescita insufficiente. Ghiandole sessuali piccole	Febbre, nausea, vomito, diarrea
RAME	0,1	2	Carni, acqua potabile	Costituente di enzimi associati al metabolismo del ferro	Anemia, malformazioni ossee (rara nell'uomo)	Rari stati metabolici (morbo di Wilson)
SILICIO VANADIO STAGNO NICHEL	0,024 0,018 0,017 0,010	Non stabilita	Molto diffusi negli alimenti	Funzione ignota (essenziale per gli animali)	Non riscontrata nell'uomo	Danni da attività industriali: Silicio-silicosi, Vanadio-irritazioni polmonari, Stagno-vomito, Nichel-polmonite acuta
SELENIO	0,013	Non stabilita (la dieta ne fornisce 0,05-0,1 al giorno)	Prodotti del mare, carni, granaglie	Funziona in stretta associazione con la vitamina E	Anemia (rara)	Disturbi gastrointestinali, irritazioni polmonari
MANGANESE	0,012	Non stabilita (la dieta ne fornisce 6-8 al giorno)	Molto diffuso negli alimenti	Costituente di enzimi implicati nella sintesi dei grassi	Negli animali: crescita scarsa, disturbi del sistema nervoso, anomalie nella riproduzione	Avvelenamento nelle miniere di manganese: malessere generale del sistema nervoso
IODIO	0,011	0,14	Pesce di mare, molluschi, prodotti di latteria, molte verdure	Costituente degli ormoni tiroidei	Gozzo (ingrossamento della tiroide)	Ingestioni molto notevoli deprimono l'attività tiroidea
MOLIBDENO	0,009	Non stabilita (la dieta ne fornisce 0,4 al giorno)	Legumi, cereali, frattaglie	Costituente di alcuni enzimi	Non riscontrata nell'uomo	Inibizione di enzimi
CROMO	0,006	Non stabilita (la dieta ne fornisce 0,05-0,12 al giorno)	Grassi, olii vegetali, carni	Implicato nel metabolismo glucidico ed energetico	Menomazione della capacità di metabolizzare il glucosio	Danni da attività di lavoro alla pelle e ai reni
COBALTO	0,0015	(Necessario come vitamina B_{12})	Frattaglie e polpa, latte	Costituente della vitamina B_{12}	Non riscontrata nell'uomo	Danni da attività industriale alla pelle e ai globuli rossi
ACQUA	40 000 (60 per cento del peso corporeo)	1,5 litri al giorno	Alimenti solidi, liquidi, acqua potabile	Trasporto di sostanze nutritive. Regolazione della temperatura corporea. Partecipa a reazioni metaboliche	Sete, disidratazione	Cefalea, nausea. Edema. Pressione sanguigna alta

Gli elementi essenziali sono implicati nelle funzioni elettrochimiche dei nervi e dei muscoli, nella formazione delle ossa e dei denti, nell'attivazione di enzimi e, per quanto riguarda il ferro, nel trasporto di ossigeno. Tracce di nichel, stagno, vanadio e silicio, elementi ritenuti un tempo dannosi alla salute, sono ora considerate essenziali per gli animali. Sebbene siano così ampiamente diffusi in natura da rendere alquanto improbabili carenze dietetiche primarie, cambiamenti nei loro rapporti possono avere conseguenze rilevanti sulla salute.

I cicli nutritivi delle piante e degli animali

L'agricoltura moderna provvede ai fabbisogni dell'uomo favorendo l'esistenza di piante, di animali e di microrganismi che utilizzano energia e sostanze inorganiche a beneficio delle necessità umane

di Jules Janick, Carl H. Noller e Charles L. Rhykerd

La nutrizione di tutte le forme di vita è necessariamente in equilibrio. La energia solare catturata dalle piante che operano la fotosintesi viene distribuita a un gran numero di altri organismi e può seguire un lungo e complicato percorso attraverso la biosfera. Da ultimo, comunque, questa energia viene completamente irradiata di nuovo nello spazio; se ciò non avvenisse, la temperatura della Terra aumenterebbe. Analogamente, sostanze inorganiche presenti nel terreno, nell'acqua e nell'aria vengono assorbite dalle piante verdi e fissate in molecole organiche che diventano nutrimento per gli animali, per certe altre specie vegetali e per microrganismi. Talune di queste sostanze possono mantenersi inalterate in una forma intangibile per lunghi periodi ma, se il sistema biologico è stabile, devono alla fine essere interamente restituite all'insieme delle sostanze nutritive di cui si alimentano le piante.

Poiché il complesso degli esseri viventi deve mantenersi in equilibrio, può essere considerato come un flusso continuo di energia e di sostanze nutritive attraverso una trama di cicli interconnessi. La funzione dell'agricoltura è quella di incanalare questo flusso a vantaggio di una singola specie. Associazioni vegetali naturali vengono sostituite con varietà coltivate che sono state selezionate in base alla loro efficacia nel produrre cibo per l'uomo. L'addomesticamento di animali obbedisce a uno scopo analogo. Un terzo anello essenziale nella catena alimentare - i microrganismi - è ancora costituito principalmente da specie spontanee, ma la tecnologia agricola potrebbe intervenire anche in questo settore.

L'obiettivo di tutte le tecniche agricole è quello di deviare il flusso di risorse nutritive che percorre la catena alimentare. Ciò che distingue la moderna agricoltura è il fatto di avere aumentato la disponibilità di cibo intensificando il flusso di sostanze nutritive lungo il ciclo. Questo intervento è stato realizzato attraverso numerosi sistemi, ma quello che è di gran lunga il più comune, oltre che uno dei più importanti, consiste nell'abbreviare il tempo di ritorno delle risorse nutritive al suolo, dove possono essere di nuovo assimilate. In definitiva, per soddisfare le necessità alimentari della popolazione umana occorre garantire la nutrizione di un gran numero di piante, animali e microrganismi.

GREEN BAY
PALEOZOICO MEDIO
FIUME FOX
PALEOZOICO INFERIORE
LAGO WINNEBAGO

L'equilibrio dell'energia sulla superficie terrestre è mostrato dall'immagine della pagina a fronte, ottenuta con radiazioni appartenenti alla banda dell'infrarosso dello spettro elettromagnetico. La fotografia è stata scattata nell'agosto 1973, da un'altezza di 450 chilometri, mediante uno strumento installato a bordo dello *Skylab 3*, e copre la regione mostrata nella cartina a sinistra, posta nelle vicinanze di Green Bay, nello stato americano del Wisconsin. L'intensità della radiazione infrarossa emessa da una superficie è determinata soprattutto dalla sua temperatura. Nel nostro caso, l'intensità relativa delle emissioni vengono indicate da colori diversi che sono, in ordine d'intensità crescente, bianco, azzurro, rosso, verde, blu, giallo, magenta e nero. L'ampia fascia di territorio che appare colorata in modo predominante in giallo e magenta costeggia il lago Michigan, che è situato appena al di fuori dell'immagine, sulla destra. Il giallo e il magenta predominano anche in corrispondenza del lago Winnebago e di Green Bay. La caratteristica saliente del territorio è un passaggio repentino a emissioni termiche più intense, che appaiono in nero. La linea di transizione corrisponde al confine tra regioni a diversa struttura geologica e a differente topografia. La zona giallo e magenta è formata soprattutto da pianure umide, mentre la zona in nero è più collinosa e un po' più asciutta. L'intera regione è sede di un intenso sviluppo agricolo legato prevalentemente ad allevamenti di bestiame da latte. Tutta l'energia solare assorbita dalla Terra viene alla fine reirradiata nello spazio, in buona parte a lunghezze d'onda facenti parte dell'infrarosso.

Sulla Terra giunge una notevole quantità di energia solare, ma solo una piccola parte è disponibile per finalità biologiche. Circa il 60 per cento dell'energia viene semplicemente riflessa e la maggior parte della restante viene assorbita dall'atmosfera, dagli oceani e dalle terre emerse per essere immediatamente irradiata di nuovo nello spazio come calore. Rispetto alla quantità dell'energia che interessa complessivamente il pianeta, la luce solare assorbita dalle piante verdi e incorporata in forma chimica è praticamente insignificante: non raggiun-

ge infatti l'uno per cento dell'energia totale incidente, e questo valore rientra nell'ambito dell'errore sperimentale di calcolo.

Nella pianta, la luce solare viene assorbita da pigmenti, molecole i cui colori brillanti lasciano intendere la capacità di assorbire intensamente le radiazioni di alcune parti dello spettro ottico. Il pigmento più importante è la clorofilla, che assorbe sia la luce rossa che quella blu, ma in quasi tutte le piante si trovano anche numerosi altri pigmenti: nel loro insieme, essi utilizzano pressoché tutte le lunghezze d'onda che compongono la parte visibile dello spettro.

La pianta impiega l'energia solare assorbita per avviare una complicata successione di reazioni chimiche che hanno come risultato complessivo il trasferimento di due atomi di idrogeno da una molecola d'acqua a una di anidride carbonica. I prodotti della reazione sono ossigeno, che viene liberato nell'atmosfera, e carboidrati, composti costituiti da carbonio, idrogeno e ossigeno. L'energia contenuta in questi prodotti è maggiore di quella contenuta nell'anidride carbonica e nell'acqua iniziali: la quota guadagnata può essere recuperata e utilizzata. Il più semplice sistema di recupero si basa sulla ricombinazione dell'ossigeno con i carboidrati: questo processo, la respirazione, rappresenta il principale meccanismo dal quale la stragrande maggioranza degli organismi ricava l'energia necessaria ai propri fabbisogni.

Il carbonio che passa, attraverso la fotosintesi, dalla forma inorganica a quella organica viene chiamato carbonio fissato. Una parte di quest'ultimo viene utilizzata immediatamente per soddisfare le necessità metaboliche della pianta, ivi compresa la sintesi di altre molecole essenziali, quali gli amminoacidi che sono i componenti delle proteine. La parte restante del carbonio fissato viene immagazzinata generalmente sotto forma di polisaccaridi, grandi molecole formate dall'unione di molte unità di zuccheri semplici. Il polisaccaride di gran lunga più comune nelle piante è la cellulosa, il materiale fibroso responsabile della rigidezza e dell'integrità strutturale delle foglie e dei fusti. Riserve di energia per la pianta e per la sua discendenza sono spesso costituite da un altro polisaccaride, l'amido, accumulato nei semi e in organi specializzati quali tuberi, rizomi e bulbi. Gli animali ricavano quasi tutta la

I fabbisogni nutritivi delle piante e degli animali sono sostanzialmente differenti. Quelli delle piante possono essere riassunti in un elenco di elementi, mentre gli animali richiedono anche molecole più complesse di sostanze organiche come amminoacidi (i costituenti delle proteine), acidi grassi e vitamine. Tra gli animali, i ruminanti costituiscono un caso eccezionale in quanto molte delle loro esigenze nutritive possono essere soddisfatte per il tramite dell'attività di sintesi di microrganismi presenti nel rumine. Oltre agli elementi qui elencati, sono indispensabili per tutti gli organismi il carbonio, l'idrogeno e l'ossigeno.

loro energia direttamente o indirettamente dalla decomposizione di questi due polisaccaridi. Cellulosa e amido sono strettamente imparentati fra loro, poiché consistono entrambi di lunghe catene formate da unità di uno zucchero, il glucosio. La differenza risiede solo nella geometria dei legami tra le unità di glucosio. Tuttavia, a questa piccola diversità di struttura conseguono rilevanti differenze nelle proprietà fisiche delle due molecole e nella loro idoneità a entrare a far parte di diete adatte per animali diversi.

Le piante verdi catturano energia solare con un'efficienza variabile dal 15 al 22 per cento, superiore all'efficienza della conversione di energia in molti processi industriali. L'energia rappresentata dal carbonio fissato passa lungo gli anelli della catena alimentare quando le sostanze che costituiscono la pianta vengono consumate da altri organismi. In ciascun passaggio viene perduta una frazione di energia e in certi casi si tratta della maggior parte di essa. Un centinaio di tonnellate di alghe marine devono passare attraverso la catena alimentare per produrre un chilogrammo di merluzzo. Tutta la restante energia contenuta nelle alghe viene perduta, specialmente come calore. Lo stesso merluzzo è destinato a venir presto trasformato in calore e in poche sostanze a basso tenore energetico: anidride carbonica, acqua e sali minerali.

Questa imponente perdita di energia può sembrare eccessiva, ma in realtà non influisce gravemente sul problema dell'alimentazione della popolazione umana. La produzione annuale di carbonio fissato da parte delle piante verdi terrestri e marine assomma a circa 150 miliardi di tonnellate; il consumo dell'uomo è di circa 120 chilogrammi per persona. Pertanto, l'energia catturata dalle piante supera di gran lunga le necessità umane; se potesse venir trasferita interamente nell'alimentazione umana, potrebbe sopperire ai bisogni di una popolazione di 1150 miliardi di individui, 280 volte più numerosa di quella attuale. La disponibilità di cibo non viene certo limitata da una scarsità di luce solare.

La quantità di energia che assume importanza nei calcoli di rendimento agricolo è quella che deve essere fornita dall'uomo allo scopo di concentrare, e in seguito ricavare, le sostanze nutritive. In condizioni naturali, le piante vivono spesso distribuite in modo sparso e solo una piccola quantità delle sostanze organiche disponibili si trovano in una forma direttamente utilizzabile dall'uomo. Lo impiego intermedio di un bovino da pascolo costituisce un anello inefficiente nella trasformazione dell'energia solare in cibo per l'uomo. Nei terreni da pascolo, tuttavia, dove la vita vegetale si presenta in modo sparso ed è rappresentata principalmente da piante erbacee e da altre specie con un elevato contenuto fibroso, il bovino fa raccolta di materiali nutritivi con i propri mezzi e l'apporto integrativo di energia da parte dell'uomo è piccolo. La maggior parte del prodotto finale, cioè della bistecca, costituisce un guadagno netto.

Pochi ambienti sono inospitali al punto che nulla sia disposto a crescervi; le regioni artiche e quelle alpine ospitano i loro fiorellini selvatici, e perfino i marciapiedi cittadini lasciano talvolta intravvedere qualche ciuffo d'erba. In queste condizioni, le piante utilizzano realmente pochissime sostanze nutritive. L'agricoltura, tuttavia, è vantaggiosa solo dove una specie vegetale che riveste un certo valore per l'uomo può essere coltivata con alto rendimento. Se occorre conseguire un rendimento significativo, tutte le sostanze nutritive necessarie alla pianta devono essere fornite nei quantitativi più opportuni e adatti.

A paragone delle complesse esigenze nutritive dell'uomo e di altri animali, le necessità delle piante sono piuttosto semplici. Le piante si sostentano completamente per mezzo di sostanze inorganiche, il cui numero è peraltro piccolo. Le principali sostanze nutritive sono l'anidride carbonica, l'ossigeno e l'acqua, e il fabbisogno di queste è così ingente da farle spesso considerare in una categoria separata rispetto alle altre sostanze nutritive. Naturalmente, l'anidride carbonica e l'ossigeno sono universalmente disponibili (almeno per le piante terrestri) ed è probabile che in condizioni naturali la loro disponibilità non scenda mai al di sotto di livelli tali da impedire la crescita. Anche l'acqua è in complesso abbondante, seppure con distribuzione assai meno uniforme. La relazione fra disponibilità di acqua e crescita delle piante fu sicuramente compresa prima ancora dell'inizio dell'agricoltura. Spesso l'acqua è un fattore limitante della crescita.

In tutto, sono 16 gli elementi riconosciuti come indispensabili alla crescita delle piante. L'aria e l'acqua forniscono carbonio, idrogeno e ossigeno. Oltre a questi tre elementi, altrettanti (azoto, potassio e calcio) sono necessari in quantità relativamente elevate, mentre i rimanenti elementi nutritivi (fosforo, magnesio, zolfo, manganese, boro, ferro, zinco, rame, molibdeno e cloro) sono necessari in dosi inferiori e per qualcuno di essi il fabbisogno si valuta solo in tracce.

A esclusione di carbonio, idrogeno e ossigeno, tutti gli elementi nutritivi devono essere assorbiti dal terreno. Il nutrimento delle piante dipende quindi dalla capacità del terreno di immagazzinare elementi essenziali e di renderli disponibili in una forma biologicamente attiva. Molti dei principali eventi che segnano lo sviluppo di una coltura si compiono al di sotto della superficie del suolo; per conseguenza, il terreno occupa una posizione fondamentale in numerosi cicli biologici.

Il terreno è la fonte principale di sostanze nutritive per le piante oltre che la sede di molte importanti trasformazioni che riguardano il ciclo alimentare. I componenti inorganici del terreno, prodotti in seguito alla alterazione delle rocce e alla cristallizzazione di minerali, vengono classificati, secondo la tessitura, in argilla, limo, sabbia e ghiaia. Un altro componente di grande importanza è quel materiale organico chiamato humus. L'argilla e l'humus sono di natura colloidale e le loro particelle, di superficie assai estesa, adsorbono rapidamente sostanze nutritive e le trattengono in vista del successivo assorbimento da parte delle radici. Una sezione trasversale del terreno mostra generalmente una successione di strati diversi.

Il terreno si forma in seguito all'azione di alterazione e di disgregazione operata sulle rocce, più o meno direttamente, dagli agenti atmosferici e in seguito alla sintesi di minerali nello stato sia cristallino che amorfo. Le caratteristiche e la composizione del terreno vengono poi alterate dall'attività biologica. Il processo della formazione del terreno è di tipo continuo, evolutivo. Sezioni verticali della maggior parte dei terreni rivelano una successione di strati. In corrispondenza della superficie vi può essere uno strato di residui vegetali, al di sotto di questo uno strato ricco di materiale organico, al di sotto ancora il cosiddetto sottosuolo e infine la roccia madre in differenti stadi di alterazione.

I componenti minerali del terreno sono classificati, in base alle dimensioni delle loro particelle, come argilla, limo, sabbia e ghiaia. Non bisogna comunque dimenticare un importante costituente organico, l'humus, che è composto da residui resistenti alla decomposizione tra i quali figurano lignina, cere, grassi e alcuni materiali di natura proteica. L'humus esercita un'influenza profonda sulle proprietà fisiche e chimiche del terreno. Le particelle più grossolane di limo, sabbia e ghiaia hanno proprietà fondamentalmente simili a quelle delle rocce di provenienza. L'argilla e l'humus sono colloidi, o sospensioni di particelle di dimensioni microscopiche, e rappresentano i componenti più attivi del terreno; sono particolarmente idonei a trattenere sostanze nutritive minerali.

La tessitura e la struttura di un terreno sono fattori importanti nel deciderne l'idoneità a fini agricoli. La tessitura dipende principalmente dalle dimensioni delle particelle, che a loro volta determinano le dimensioni degli spazi vuoti tra le particelle medesime. I terreni sabbiosi presentano elevata porosità e l'acqua tende a filtrare rapidamente attraverso di essi, andando quindi perduta per le radici e asportando inoltre sostanze nutritive solubili. I minuscoli pori dei terreni argillosi trattengono l'acqua per capillarità e creano in tal modo il mezzo umido indispensabile al trasporto di sostanze nutritive. D'altra parte, terreni con eccessivo tenore di argilla possono diventare permanentemente imbevuti d'acqua, impedendo l'aerazione delle radici.

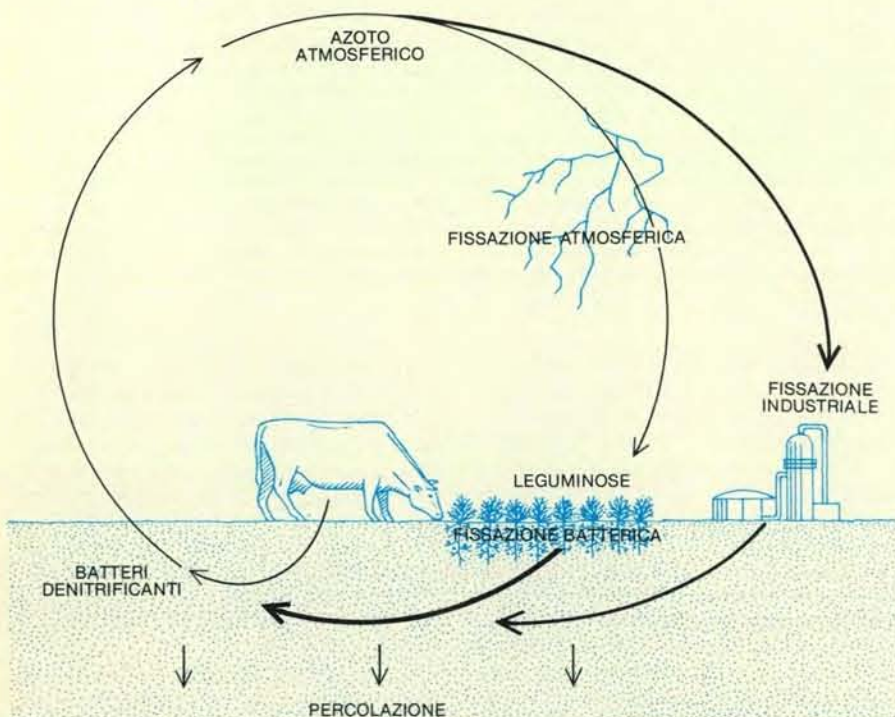
I terreni più produttivi hanno una struttura incoerente, sviluppatasi in seguito alla cementazione di fini particelle colloidali per opera di materiali organici, prodotti particolarmente da microrganismi. Questo tipo di terreno è ben aerato e possiede una notevole capacità di trattenere acqua.

La grande importanza che rivestono le particelle colloidali di argilla e di humus è connessa alla loro capacità di adsorbire ioni. I colloidi possiedono una superficie straordinariamente estesa in rapporto al volume; inoltre, le particelle posseggono una carica elettrica negativa e quindi attraggono sulla propria superficie cationi, cioè ioni carichi positivamente. In tal modo sostanze nutritive che altrimenti andrebbero perdute con l'acqua percolante vengono trattenute per una successiva utilizzazione da parte delle piante.

I cationi che si uniscono alle particelle colloidali non lo fanno con legami forti e quindi possono essere sostituiti da altri. Se tutti gli ioni sono presenti in uguale concentrazione, gli ioni sodio sono sostituiti da ioni potassio e questi, a loro volta, da ioni magnesio. Gli ioni calcio prendono il posto degli ioni magnesio e infine gli ioni idrogeno prendono il posto degli ioni calcio. Gli ioni idrogeno si formano in continuazione, man mano che l'anidride carbonica, prodotta nella respirazione delle radici e nella degradazione biologica dei carboidrati, si scioglie nell'acqua del terreno e forma acido carbonico. La regolare liberazione di ioni idrogeno promuove lo scambio di cationi, rendendoli così disponibili per la crescita della pianta. Gli altri cationi vengono continuamente forniti dalla decomposizione delle rocce e dalla degradazione di materiali organici. Nella pratica agricola, naturalmente, la concentrazione di tutti i cationi può essere alterata a volontà attraverso l'uso di fertilizzanti, ma ciò non toglie importanza alla funzione svolta dall'argilla e dall'humus nell'immagazzinare le sostanze nutritive e nel renderle disponibili per le radici.

L'attitudine di un terreno allo scambio di cationi dipende dal contenuto di humus e di argilla e dalla composizione dell'argilla. La sabbia è relativamente inerte, e i terreni sabbiosi poveri di sostanze organiche sono chimicamente inerti e sterili, anche se possono essere resi produttivi in seguito a fertilizzazione e a irrigazione. Il limo è un po' più reattivo della sabbia, ma lo è in genere assai meno rispetto all'argilla. Le argille differiscono tra loro nella capacità di

Il ciclo dell'energia nella biosfera è guidato dall'attività fotosintetica delle piante verdi. Le piante utilizzano energia solare per trasformare sostanze inorganiche in composti organici ricchi di energia, particolarmente carboidrati e proteine. Quasi tutti gli altri organismi traggono il proprio sostentamento dalla degradazione dei prodotti di fotosintesi nei loro costituenti più semplici. Tutti gli animali, per esempio, dipendono interamente per il proprio nutrimento dall'esistenza delle piante, direttamente nel caso degli erbivori, indirettamente nel caso dei predatori primari e secondari. Da ultimo, i prodotti di rifiuto e i tessuti morti, sia delle piante che degli animali, costituiscono alimento per organismi decompositori che ricavano da questi materiali l'energia ancora disponibile e li riportano nella forma inorganica. Le quantità relative di energia radiante ricevuta dalla Terra e reirradiata nello spazio e della biomassa dei vari organismi che fanno parte della catena alimentare sono rappresentate dal volume dei cubi.

Il ciclo del carbonio comprende due processi antitetici, la fotosintesi e la respirazione. Durante la fotosintesi, le piante trasformano anidride carbonica e acqua in carboidrati e ossigeno. L'energia così accumulata viene utilizzata nella respirazione man mano che i carboidrati e l'ossigeno si ricombinano per ridare anidride carbonica e acqua. La respirazione è comune a tutti gli organismi che possono vivere in presenza di ossigeno e che quindi contribuiscono tutti al ritorno dell'anidride carbonica nell'atmosfera. Parte del carbonio viene confinato in minerali come il carbone e il petrolio, ma anch'esso viene infine restituito al ciclo in seguito a combustione.

Il ciclo dell'azoto è rappresentato in questa figura in modo sintetico. L'azoto atmosferico è inutilizzabile per le piante; deve essere fornito in forma fissata, ossia combinata, come negli ioni ammonio (NH_4^+) o negli ioni nitrato (NO_3^-). Una piccola quantità di azoto è fissata a opera di fulmini e di altri fenomeni che hanno luogo nell'atmosfera, mentre un contributo più importante è fornito da parte di batteri, segnatamente da quelli che vivono in simbiosi nei noduli delle radici di leguminose. Nondimeno, la quantità di azoto disponibile rimane ridotta nella maggior parte dei terreni. Oltre a venire allontanato dalle acque di percolazione e per opera di batteri che lo restituiscono all'atmosfera, l'azoto va perduto con i raccolti. Per compensare queste perdite, si somministra al terreno come fertilizzante azoto fissato industrialmente; la fissazione industriale è divenuta un'importante componente del ciclo dell'azoto.

scambiare cationi; l'humus può essere due volte più reattivo delle più reattive tra le argille. Per questo motivo l'humus svolge, nella nutrizione delle piante, una funzione più imponente di quanto potrebbero far pensare le modeste quantità in cui esso è presente nella maggior parte dei terreni.

Nelle zone intertropicali umide, i terreni tendono a essere scarsamente produttivi; le loro argille hanno una modesta attitudine allo scambio di cationi e l'humus non può accumularsi, poiché le elevate temperature dei climi equatoriali provocano una rapida decomposizione delle sostanze organiche. Il problema è aggravato dalle abbondanti precipitazioni che allontanano, con l'acqua di percolazione, le sostanze nutritive dal suolo. La vegetazione lussureggiante delle fasce umide intertropicali fa pensare a grandi possibilità agricole: in realtà, la fertilità del terreno è scarsa. Le piante della foresta equatoriale riescono ad assicurarsi una crescita rigogliosa solo grazie all'adattamento al proprio habitat e alla capacità di assorbire rapidamente le sostanze nutritive che si formano per decomposizione delle sostanze organiche prima che possano venire allontanate dall'acqua di percolazione. Questo equilibrio è labile. Il trasferimento delle pratiche agricole tali e quali da zone temperate a zone di climi caldo-umidi ha successo solo saltuariamente poiché il ciclo delle sostanze nutritive viene interrotto e la produttività diminuisce nettamente.

Il pH del terreno influenza profondamente la crescita delle piante. Terreni eccessivamente alcalini (quelli con un pH uguale o superiore a 9) e terreni molto acidi (con un pH uguale o inferiore a 4) sono di per se stessi tossici per le radici. Tra questi estremi l'effetto diretto del pH del terreno sulla maggior parte delle piante è meno sensibile, ma l'effetto indiretto sulla disponibilità di sostanze nutritive può essere notevolissimo. Il fosforo, per esempio, diventa insolubile, e quindi non assimilabile, se il terreno è molto acido o molto alcalino. Il pH influisce anche sugli organismi del terreno, particolarmente sui batteri. Un'elevata acidità, che è tipica delle zone umide, impedisce sia la fissazione dell'azoto sia il processo di degradazione. I terreni acidi possono essere resi neutri mediante l'uso di calcare; un'eccessiva alcalinità, che è tipica delle zone aride, può essere corretta con l'aggiunta di fertilizzanti che provocano acidità o favorendo l'allontanamento dei sali in eccesso attraverso l'azione dell'acqua percolante nel suolo.

Un ultimo componente del terreno che non può essere trascurato è rappresentato dalla popolazione indigena di organismi viventi. Un ettaro di suolo fertile, considerando una profondità di 30 centimetri, può contenere più di sette tonnellate di esseri viventi come batteri, funghi, protozoi, alghe, nematodi, anellidi e insetti. Questi organismi sono totalmente responsabili della degradazione dei materiali organici a sostanze nutritive semplici, assimilabili dalle radici delle piante. I microrganismi si nutrono dei rifiuti di piante e animali e le piante si nutrono degli escreti e dei prodotti di degradazione dei microrganismi. La fauna e i microrganismi del terreno contribuiscono anche a mantenere la struttura e una buona aerazione del terreno stesso.

Verso la metà del diciannovesimo secolo, Justus von Liebig formulò la legge del minimo, secondo la quale la crescita di una pianta è limitata dalla disponibilità di quella sostanza nutritiva che è presente in minor quantità. Di conseguenza si ricava poco beneficio a irrigare una coltura che sia afflitta da mancanza di azoto e, se tale carenza viene eliminata, qualche altra sostanza nutritiva diventerà il fattore limitante. Una pratica agricola corretta deve provvedere alla somministrazione di tutte le sostanze nutritive in quantità adeguate e nei rapporti migliori possibili.

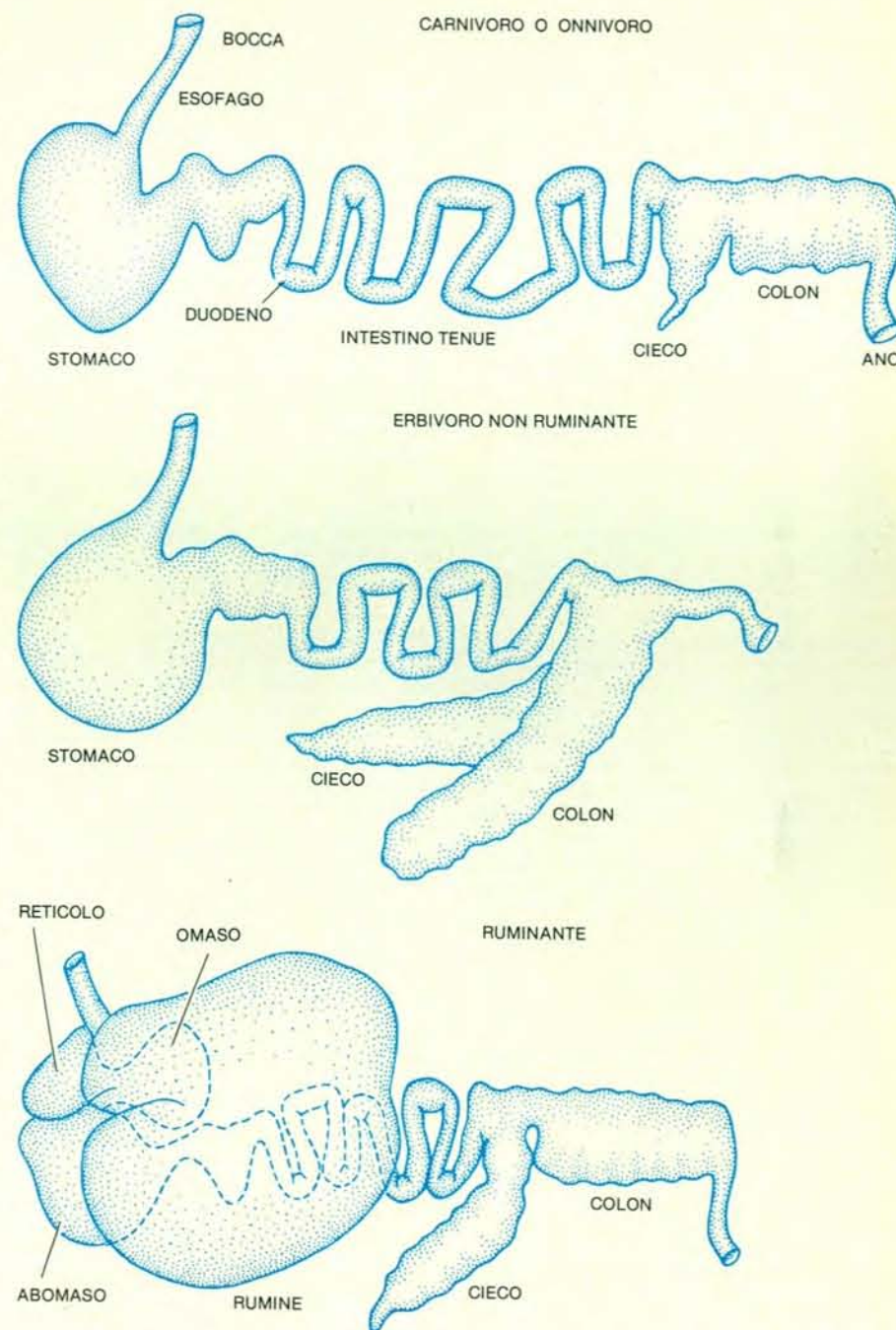
In genere, il fattore limitante è rappresentato dall'azoto. Poiché questo elemento è un costituente di tutte le proteine e di molte altre molecole d'interesse biologico, ne sono necessarie quantità relativamente elevate. Inoltre, una parte cospicua dell'azoto viene allontanata dal terreno con l'acqua di percolazione e con l'erosione, per l'azione di microrganismi e infine ad opera delle piante medesime. Nella maggior parte dei terreni la quantità di azoto immediatamente utilizzabile è piccola.

L'azoto è, come noto, il costituente più abbondante dell'atmosfera e una colonna d'aria sovrastante un ettaro di superficie terrestre ne contiene 400 000 tonnellate. Tuttavia, in questa forma chimica (cioè di molecola biatomica), l'azoto è inutilizzabile per la maggior parte delle piante; per essere biologicamente attivo deve venire fissato, cioè deve combinarsi con altri elementi. In natura, la fissazione dell'azoto si compie nel terreno, soprattutto per opera di certi batteri. I più efficienti di questi batteri sono simbionti, nel senso che fissano azoto solo vivendo in associazione con le radici di leguminose.

Nel terreno, l'azoto è abbondante nelle sostanze organiche a diversi stadi di decomposizione; tuttavia questo elemento rimane inutilizzabile da parte delle piante fino a che non venga trasformato in ione ammonio (NH_4^+) o in ione nitrato (NO_3^-). Il cammino seguito dall'azoto dalla forma elementare a costituente di amminoacidi e proteine, e di nuovo alla forma elementare, è il ciclo più profondamente studiato tra quelli che riguardano le sostanze nutritive. Una buona parte della nutrizione delle piante e degli animali si impernia sulla disponibilità di composti contenenti azoto.

La degradazione delle proteine ad amminoacidi nel terreno è operata da batteri che utilizzano per la propria crescita l'energia che si libera in questo processo. Solo dopo la morte e la decomposizione dei batteri l'azoto diventa disponibile per le radici.

L'ulteriore degradazione degli amminoacidi in composti inorganici dell'azoto si compie attraverso più fasi, ciascuna delle quali è realizzata dall'intervento di un gruppo specifico di batteri. Dapprima, dagli amminoacidi vengono liberati ioni ammonio; in seguito, gli ioni ammonio sono trasformati in ioni nitrito (NO_2^-) e questi infine in ioni nitrato (NO_3^-). I batteri che producono nitriti e nitrati sono autotrofi e aerobi, cioè non richiedono nutrimento organico ma necessitano della presenza di ossigeno; risentono fortemente delle condizioni di aerazione del terreno, nonché della temperatura e dell'umidità.

Analogamente a quanto avviene per la

L'organizzazione dell'apparato digerente è il principale fattore che determina il tipo di dieta di un animale; in particolare, stabilisce se un animale può o non può trarre nutrimento dalla cellulosa, il prodotto più abbondante delle piante. La digestione della cellulosa è resa possibile da enzimi secreti da batteri, da protozoi e da lieviti. Negli animali provvisti di stomaci semplici, compresi carnivori come il cane e onnivori come l'uomo e il maiale, si trovano batteri solo nel cieco e nel colon e il cibo passa attraverso queste strutture troppo rapidamente perché la digestione sia effettiva. Negli erbivori non ruminanti, come ad esempio il cavallo, il cieco e il colon presentano uno sviluppo più ampio, ma il tempo di permanenza è ancora limitato e talune sostanze nutritive necessarie ai batteri sono state rimosse in punti precedenti dell'apparato digerente, per cui la digestione della cellulosa risulta incompleta. Nei ruminanti, la degradazione della cellulosa viene effettuata all'inizio dell'apparato digerente, cioè nel rumine. L'intestino risulta così disponibile in tutta la sua lunghezza per l'assorbimento delle sostanze nutritive.

trasformazione dell'azoto nelle forme assimilabili per le piante, la sua eliminazione dal terreno è un processo soprattutto biologico. Una buona parte dell'azoto non viene utilizzata dalle piante, e quando si è effettuato il raccolto la perdita è definitiva. La sottrazione di azoto fissato dall'insieme delle sostanze nutritive viene compiuta anche da alcuni batteri del terreno che riducono i nitrati di nuovo ad azoto elementare. Questo processo è di tipo anaerobico, in quanto può compiersi solo in assenza di ossigeno. Pertanto, la mancanza di un'adeguata aerazione si traduce nella perdita di azoto assimilabile. Inoltre, i nitrati sono facilmente solubili in acqua e, se non vengono utilizzati da microrganismi o da piante superiori, possono andare perduti con l'acqua di percolazione. La quantità di azoto disponibile dipende quindi dalla quantità di sostanze organiche nel terreno, dalle popolazioni di microrganismi e dall'entità della percolazione.

In condizioni naturali viene raggiunto un equilibrio tra la velocità di crescita delle piante e i fattori che condizionano la disponibilità di azoto nel terreno, ma in molte coltivazioni agricole questo equilibrio è disturbato. La mietitura di un raccolto tende a sottrarre azoto non solo in seguito all'effetto diretto conseguente all'allontanamento di piante viventi, ma anche a causa dell'intensificarsi dell'erosione e dell'impoverimento del terreno in sostanze organiche. Per questa ragione l'agricoltura intensiva si regge sull'aggiunta di azoto sotto forma di adatti fertilizzanti.

I fertilizzanti venivano ricavati tradizionalmente da fonti organiche, in particolare da concimi animali come per esempio il guano, i cui depositi sono formati dall'accumulo di escrementi di uccelli. In seguito si fece ricorso anche a nitrato di sodio, estratto da miniere del Cile, e a solfato di ammonio, un sottoprodotto delle cokerie. Attualmente, la maggior parte dei fertilizzanti azotati viene prodotta per sintesi attraverso il processo Haber, in cui l'azoto atmosferico viene fatto reagire con idrogeno ottenendosi ammoniaca. L'azoto ammoniacale può essere impiegato direttamente oppure può essere utilizzato come materia prima per la preparazione di urea, di nitrati o di altri composti azotati.

L'idrogeno necessario per il processo Haber viene generalmente ricavato da gas naturale e il costo di questo combustibile è determinante per il costo di produzione dei fertilizzanti azotati. La sintesi di una tonnellata di ammoniaca richiede più di 800 metri cubi di gas naturale. Attraverso la fissazione industriale dell'azoto, i combustibili fossili entrano dunque direttamente nel ciclo delle sostanze nutritive; il loro costo viene ripagato dal miglioramento conseguito dai raccolti in seguito alla fertilizzazione.

Gli altri elementi nutritivi hanno una probabilità inferiore di costituire una limitazione per la crescita, ma ciò non significa che siano meno importanti. In alcuni casi, la quantità necessaria è piccola ma assolutamente indispensabile. Il fosforo è un costituente degli acidi nucleici e di numerose molecole che prendono parte al trasporto di energia, ma è necessario solo in piccole quantità. I vegetali secchi contengono circa lo 0,2 per cento di fosforo. Ciononostante, la maggior parte dei terreni non è in grado di fornire abbastanza fosforo da assicurare la massima crescita. A differenza dell'azoto, il fosforo è relativamente stabile nel terreno e la perdita con l'acqua di percolazione è trascurabile, ma la sua disponibilità dipende dal pH del terreno. I fertilizzanti fosfatici sono largamente impiegati, nella maggior parte dei casi come superfosfati, ottenuti trattando il fosfato minerale con acido solforico o con acido fosforico.

Il fabbisogno di potassio è relativamente elevato, tuttavia la funzione di questo elemento nella fisiologia della pianta non è ancora stata ben chiarita. È disponibile sotto forma di ione scambiabile, adsorbito nella frazione colloidale del terreno. I terreni che contengono quantità relativamente scarse di humus sono spesso ricchi di potassio, ma in una forma insolubile e quindi non assimilabile. I terreni organici sono per solito carenti di potassio. Spesso quindi è necessaria l'aggiunta di fertilizzante, che, nella maggior parte dei casi, è costituito da cloruro di potassio.

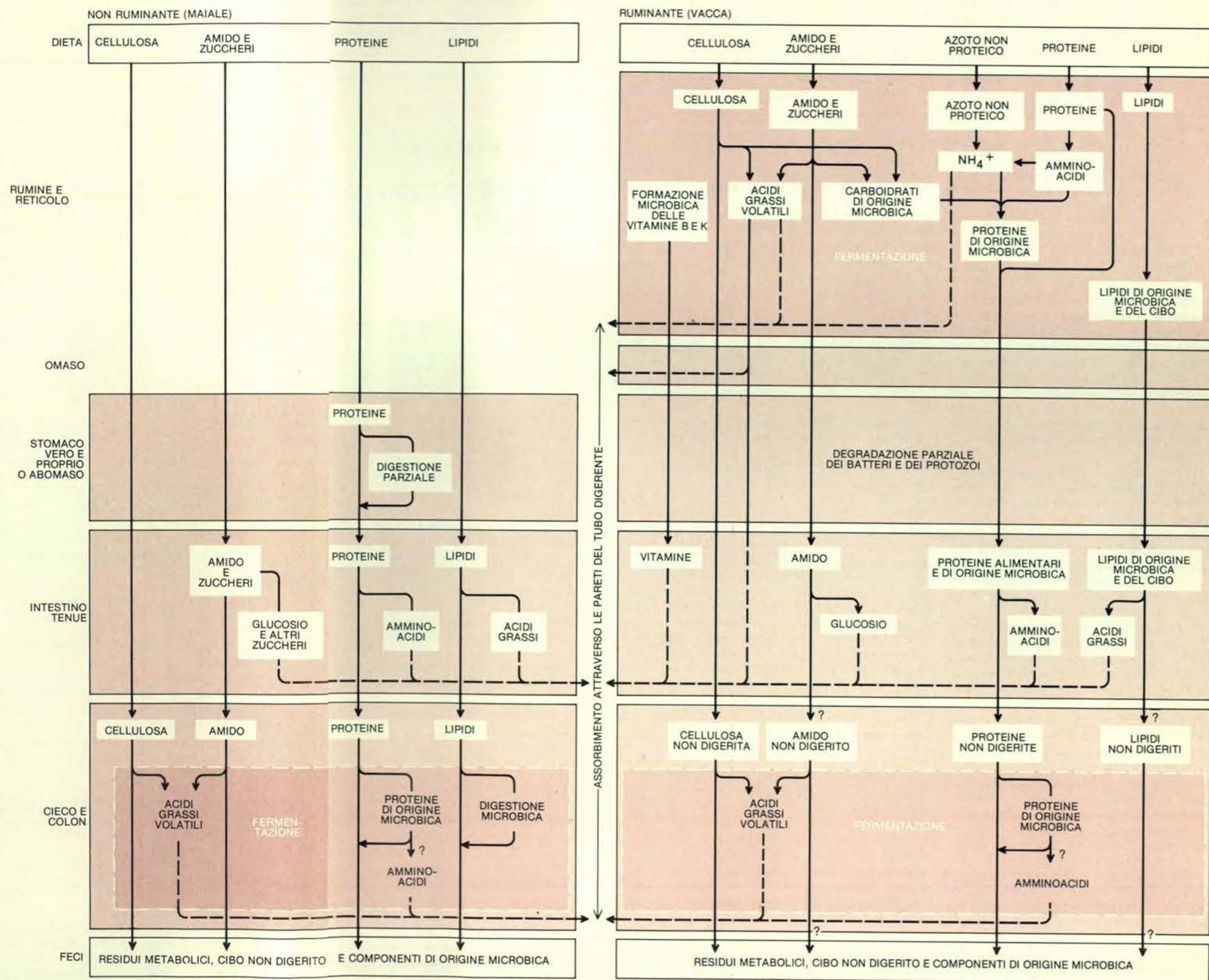
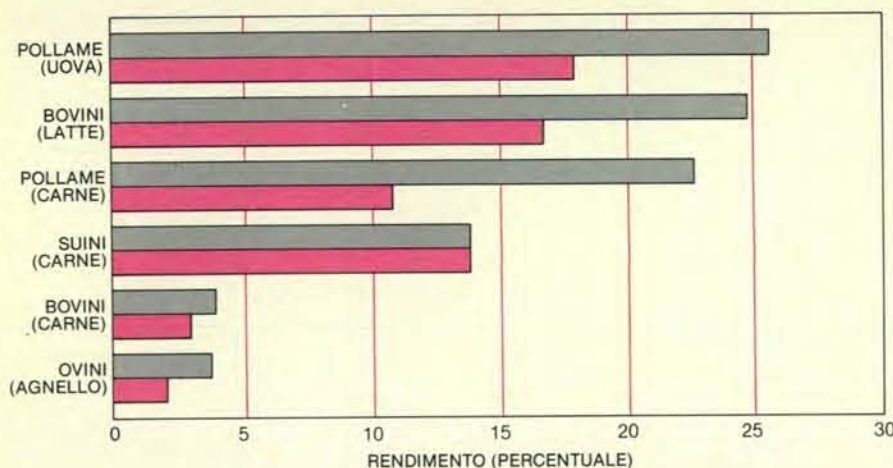
Il calcio è contenuto nelle piante in quantità variabile da specie a specie (è abbondante nelle leguminose e non nelle graminacee), ma talvolta è scarso come elemento nutritivo. Gli effetti collaterali del calcio nel terreno sono, comunque, numerosi, col risultato che il contenuto di calcio viene spesso migliorato artificialmente. Questo elemento influenza l'attività dei microrganismi, il pH e l'assorbimento di altri ioni. Il calcio è presente nel terreno come catione scambiabile, solubile in acqua, combinato in composti organici e in minerali insolubili quali l'orneblenda, che è un silicato, e la calcite.

Il magnesio, un costituente della molecola di clorofilla, è assorbito dalle radici come ione. È presente nelle soluzioni del terreno come ione scambiabile e la sua carenza è rara.

Lo zolfo, un costituente dei due amminoacidi cisteina e metionina e delle vitamine biotina e tiamina, non è disponibile in grandi quantità nel terreno. Viene ininterrottamente trascinato via dall'acqua di percolazione, ma le perdite vengono continuamente reintegrate in seguito all'alterazione di minerali contenenti zolfo, come le piriti. Nelle regioni industriali, lo zolfo viene anche portato al terreno dalle precipitazioni, poiché la pioggia assorbe l'anidride solforosa prodotta dall'inquinamento industriale.

Il manganese, il boro, il ferro, lo zinco, il rame, il molibdeno e il cloro sono necessari alla pianta solo in piccolissime quantità. Eventuali carenze, anche se non sono diffuse, possono limitare notevolmente la resa produttiva. La carenza di molibdeno è stata indicata come una concausa del basso livello di fissazione dell'azoto in talune regioni.

A prescindere da luce, aria e acqua, la richiesta più massiccia che una pianta rivolge all'ambiente è quella di sostanze minerali. Anche gli animali richiedono minerali, ma le necessità della loro alimentazione sono più complesse e non riconducibili a un semplice elenco di elementi chimici. La nutrizione degli animali è basata su sostanze organiche: carboidrati, grassi, vitamine e proteine, o amminoacidi di cui sono costituite le proteine. Tutte queste sostanze devono provenire direttamente o indirettamente dalle piante verdi: pertanto gli animali si comportano in realtà come parassiti della comunità vegetale. Essi traggono energia attraverso la trasformazione dei prodotti ricchi d'energia della fotosintesi in molecole meno energetiche. Per esempio, un animale può ingerire glucosio e combinarlo con ossigeno ottenendo energia, anidride carbonica e acqua; questo processo, la respirazione, è l'opposto della fotosintesi.

In linea generale, tutti gli animali si nutrono nel medesimo modo: le sostanze

La condizione alimentare dei ruminanti e quella dei non ruminanti differiscono in modo sostanziale. I non ruminanti assimilano semplicemente quella frazione dei loro alimenti che è digeribile ed espellono il resto. I ruminanti destinano una certa quantità del cibo alla crescita di una comunità microbica interna, costituita da batteri, da protozoi e da lieviti. Sia i prodotti di rifiuto che i prodotti di degradazione dei microrganismi possono essere assorbiti come sostanze nutritive. La digestione dei ruminanti permette di sfruttare un alimento altrimenti non utilizzabile.

Il rendimento del bestiame è correlato con le percentuali di proteine alimentari grezze e di energia trasformate in prodotti commestibili per l'uomo. I più alti rendimenti nella conversione sia di proteine (*in grigio*) che di energia (*in colore*) si hanno nella produzione di uova e di latte. I bovini e le pecore allevati per la macellazione presentano un basso rendimento, ma poiché la loro alimentazione può essere largamente costituita da materiali immangiabili per l'uomo, la produzione di questi animali può rappresentare un guadagno netto per l'alimentazione umana.

organiche ingerite vengono parzialmente decomposte dagli enzimi che si trovano nell'apparato digerente, in modo che le sostanze nutritive possano essere assorbite. Le varie specie animali differiscono, comunque, per i tipi di cibo dei quali si servono. Nei vertebrati la distinzione più significativa è quella tra gli animali che traggono nutrimento dalla cellulosa e quelli che richiedono altri tipi di carboidrati.

L'importanza di questa distinzione riflette la straordinaria importanza della cellulosa nel ciclo complessivo delle sostanze nutritive. Una quota assai imponente del bilancio energetico della maggior parte delle piante verdi è destinata alla produzione di cellulosa, e la cellulosa, che è il materiale più abbondante nelle strutture vegetali, costituisce un'enorme fonte di energia.

I mammiferi non producono enzimi che siano in grado di rompere i legami tra le unità di glucosio della cellulosa e questa sostanza, quindi, non riveste per essi un valore nutritivo diretto. Esiste, tuttavia, un certo numero di microrganismi capaci di produrre gli enzimi appropriati. I mammiferi che basano la propria alimentazione su una dieta ricca di cellulosa lo possono fare grazie al fatto di ospitare questi microrganismi (batteri, lieviti e protozoi) nel proprio apparato digerente. I microrganismi decompongono parzialmente la cellulosa per fermentazione, trattenendosi una parte dell'energia per utilizzarla nel proprio ciclo vitale. La decomposizione viene completata dall'animale ospite, che ricava l'energia residua trasformando le molecole fino a anidride carbonica e acqua. Occorre aggiungere che i microrganismi stessi possono venir digeriti, e così utilizzati, dopo la loro morte.

Gli animali possono essere classificati in tre gruppi in base alla loro capacità di assimilare cellulosa, e questa classificazione riflette l'organizzazione dei rispettivi apparati digerenti. I carnivori, ad esempio il cane, e gli onnivori, come l'uomo o il maiale, possiedono stomaci semplici e hanno difficoltà a digerire la cellulosa. Gli erbivori non ruminanti, come il cavallo e il coniglio, possono cibarsi di cellulosa, ma l'assimilazione è meno efficace che nei ruminanti. Gli erbivori ruminanti, come il bue, la pecora, la capra, il cervo, il bufalo e molti altri sono capaci di degradare efficacemente la cellulosa ricavandone un'ampia percentuale delle calorie loro necessarie.

Negli animali con stomaci semplici la digestione avviene principalmente per opera di enzimi secreti dagli animali stessi. La maggior parte degli enzimi viene prodotta nel pancreas e da cellule presenti nella mucosa delle pareti dello stomaco e dell'intestino tenue. Il principale luogo di assorbimento di sostanze nutritive è l'intestino tenue. Nel cieco e nel colon sono presenti batteri, ma i residui di cibo passano velocemente attraverso queste parti dell'apparato digerente e la digestione batterica è ridotta.

Negli erbivori non ruminanti, le popolazioni batteriche del cieco e del colon rivestono maggiore importanza. La cellulosa contenuta nel cibo viene qui digerita dai batteri con produzione di acido acetico, acido propionico e acido butirrico; questi acidi organici sono prodotti di rifiuto dei microrganismi, ma nutrimento ricco di energia per l'animale ospite. Anche una parte degli amminoacidi e delle vitamine sintetizzati dai batteri può essere assorbita.

L'efficacia di questo processo può venire limitata dal fatto che una parte delle sostanze nutritive necessarie ai batteri viene assorbita nell'intestino tenue, prima che possa giungere ai microrganismi. Inoltre, una parte dei prodotti utili sintetizzati dai batteri può andare perduta con le feci se vi è un difettoso assorbimento nel cieco e nel colon.

I ruminanti rappresentano un esempio di mirabile adattamento a una dieta ricca di cellulosa. La fermentazione di materiale nutritivo fibroso è specificamente localizzata in un'ampia cavità di fermentazione, il rumine, posta nella parte iniziale dell'apparato digerente. Qui la cellulosa viene demolita in molecole di dimensioni minori e si sfrutta la capacità dei microrganismi nella sintesi di amminoacidi e di talune vitamine. Le trasformazioni vengono completate prima che il cibo entri nell'intestino tenue, in modo da sfruttare quest'ultimo per l'intera sua lunghezza nell'assorbimento delle sostanze nutritive ricavate dal cibo e sintetizzate dai microrganismi.

Gli animali da allevamento sono stati tradizionalmente nutriti direttamente con alimenti vegetali quali cereali e piante erbacee, ma esistono molte altre fonti potenziali per una alimentazione regolare. Per esempio, la farina ottenuta dai semi di soia, di cotone e di arachidi come sottoprodotto dell'estrazione di olio, la crusca di frumento, la polpa di barbabietola e la melassa, sottoprodotti dell'estrazione di carboidrati, sono tutti cibi adatti per molti animali. Si possono dare in pasto al bestiame anche prodotti di scarto dei mattatoi quali sangue, farina d'ossa e altre parti di animali, e persino rifiuti biologici come escrementi di bovini e di pollame. Grazie alla capacità dei microrganismi del rumine di sintetizzare amminoacidi, l'azoto può essere fornito al bestiame sotto forma di composti come certi sali di ammonio e l'urea.

Data la varietà dei materiali di alimentazione, il numero delle possibili composizioni delle diete animali è quasi illimitato. Nei paesi poveri, il bestiame e l'uomo sono in concorrenza per quanto riguarda i cereali disponibili. Come conseguenza, questi ultimi vengono somministrati solo a quegli animali che siano efficienti nell'utilizzazione degli alimenti per formare tessuti, come i polli e i maiali, e agli animali adibiti al lavoro. I ruminanti o pascolano o consumano prodotti di scarto.

Nei paesi ricchi e ad alta produttività agricola, d'altra parte, la concorrenza è limitata. È quindi possibile aumentare la resa produttiva degli animali integrandone l'alimentazione con cereali. I suini e il pollame possono praticamente consumare tutto il loro cibo in forma concentrata. Negli Stati Uniti, le vacche delle razze da carne passano quasi interamente la loro vita al pascolo, consumando poco o nulla di cereali, ma la loro prole destinata al macello riceve generalmente un'abbondante quantità di cereali per ogni razione di cibo, allo scopo di aumentarne il tasso di accrescimento in peso e di migliorarne le caratteristiche della struttura corporea.

Le vacche da latte sono alimentate generalmente con razioni contenenti dal 20 al 50 per cento di cereali. Il bestiame da latte può crescere, automantenersi, riprodursi e conservarsi sano anche se alimentato esclusivamente con foraggi. Con un foraggio di qualità media, tuttavia, le vacche difficilmente ricavano nutrimento sufficiente per produrre più di 4-9 litri di latte al giorno. I foraggi di qualità più elevata permettono di raggiungere da 14 a 18 litri. Con un'abbondante somministrazione di cereali, una vacca da latte può arrivare a produrre più di 45 litri di latte al giorno.

Gli animali non ruminanti richiedono un tipo di alimentazione che sotto molti aspetti non differisce molto da quella umana. Nel caso di carenza di cibo, sarebbe teoricamente più opportuno escludere l'animale e riservare il cibo disponibile al consumo umano. Gli animali, comunque, rappresentano un mezzo per «raffinare» prodotti sgradevoli o non commestibili e trasformarli in forme utilizzabili. Dell'energia solare trasformata in energia chimica da una pianta solo il 20 per cento può essere utilizzato direttamente dall'uomo. Gli animali trasformano i prodotti vegetali in cibo adatto all'uomo con un rendimento che varia dal 2 al 18 per cento. La scarsa efficacia di questa trasformazione, tuttavia, da perdita diventa guadagno se l'energia fotosintetica consumata dagli animali non avrebbe potuto essere recuperata altrimenti. Ciò che giustifica l'allevamento degli animali da un punto di vista agricolo è la loro capacità di trasformare prodotti di nessuno, o di scarso valore, in alimenti per l'uomo.

In un sistema ecologico non turbato da fattori estranei, viene presto raggiunto un equilibrio tra le risorse del terreno, la comunità delle piante e tutti gli organismi che si nutrono a spese di queste ultime. La biomassa, o quantità complessiva di materiale biologico, che può trovare sostentamento è determinata da un insieme di fattori ambientali, tra i quali il clima è il più importante. Nei sistemi agricoli primitivi, la flora e la fauna naturali sono semplicemente sostituite da colture e da animali addomesticati. L'interazione tra piante e animali può risultare solo debolmente alterata; qualunque cambiamento nella biomassa totale è in genere piccolo e potrebbe essere un guadagno o una perdita. L'aspetto economico, tuttavia, è molto notevole poiché una frazione molto più grande della biomassa viene usata dall'uomo.

L'agricoltura primitiva è caratterizzata da un apporto limitato di energia, da una bassa produzione e da un'elevata efficienza complessiva. Gli animali consumano le eccedenze di cibo e prodotti di scarto; i residui vegetali si decompongono e quelli animali e umani vengono utilizzati o rimessi in ciclo nel terreno. L'uomo e gli animali provvedono a svolgere il lavoro necessario. Poca parte hanno i combustibili, i macchinari, i fertilizzanti e i pesticidi, ma altrettanto piccoli sono i ricavi sotto forma di cibo, nonostante la non lieve fatica. Se adeguatamente condotto, il sistema è nelle condizioni migliori per automantenersi; una cattiva conduzione, dovuta a supersfruttamento dei pascoli o a pratiche agricole che comportano un'eccessiva erosione, distrugge il sistema. I moderni sistemi agricoli mettono in evidenza una produzione elevata e un notevole rendimento del lavoro. I cicli naturali delle piante e degli animali, capisaldi dell'agricoltura primitiva, sono modificati per adattarli a una tecnologia che può avvalersi di grandi apporti di energia. Questi apporti sono spesso sotto forma di beni di produzione industriale: macchinari, combustibili, fertilizzanti, pesticidi. Per conseguire il massimo rendimento, la produzione di determinati raccolti viene concentrata dal punto di vista geografico e le aziende agricole si specializzano. Animali e piante vengono allevati in località separate. Questi cambiamenti rappresentano la risposta degli agricoltori a un insieme di fattori d'importanza economica che comprendono il clima, la densità di popolazione, il valore dei terreni, il basso costo dell'energia e l'alto costo del lavoro. Anche le preferenze dei consumatori hanno avuto una forte influenza. Negli Stati Uniti, è la richiesta di tagli teneri di carne bovina associata al costo relativamente ridotto dei cereali che rende attuabile l'alimentazione del bestiame con cereali di elevato valore energetico.

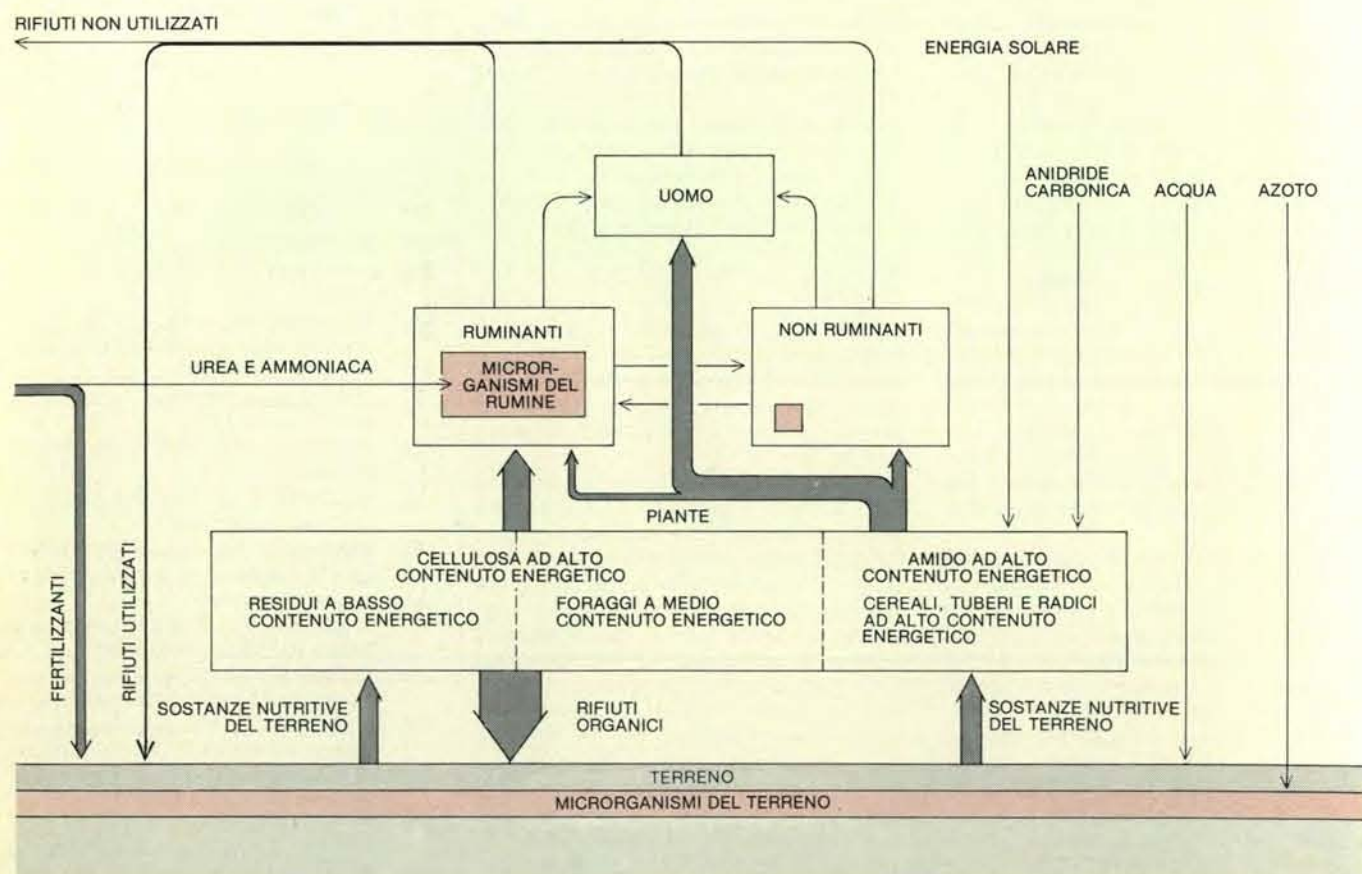
Le applicazioni della legge del minimo formulata da Liebig non vanno necessariamente limitate alle sostanze nutritive delle piante, ma possono essere estese fino a comprendere tutti i fattori dai quali dipende il successo dell'iniziativa agricola. La storia della tecnologia agricola rivela, infatti, d'essere stata una ricerca di mezzi economici per ovviare alle cause che limitano la produzione. Alcune delle regioni più produttive non avevano un tempo alcun valore essendo troppo aride; analogamente, in molte parti del mondo odierno una mancanza di investimenti di capitali si è dimostrata fattore limitante della produzione proprio come la mancanza d'acqua. Nel complesso, il successo della tecnologia nell'incrementare la produttività agricola è stato rimarchevole. All'allarmante grafico dell'aumento della popolazione del mondo corrisponde il grafico rassicurante della crescente produzione di cibo nel mondo.

Molte delle prospettive più promettenti di ulteriori miglioramenti riguardano interventi nei cicli che collegano piante, terreno, animali e microrganismi. Per esempio, ci sono oggi le premesse per un sensibile incremento nella fissazione biologica dell'azoto. Per l'erba medica si è ottenuta una resa di 40 tonnellate per ettaro, senza somministrazione di fertilizzanti azotati. I batteri simbionti nelle radici di questa leguminosa, che contiene il 3 per cento di azoto, devono fissare almeno 1100 chilogrammi di azoto per ettaro all'anno, valore che è cinque volte quello generalmente accettato come tipico. La fissazione dell'azoto nel terreno potrebbe essere ulteriormente migliorata attraverso una selezione artificiale di ceppi di batteri simbionti particolarmente efficienti, accoppiata a un impiego più diffuso di leguminose, soprattutto nelle

regioni comprese fra i tropici. Sono stati scoperti recentemente, in certe regioni calde, batteri capaci di fissare l'azoto che vivono in parziale simbiosi con certe graminacee, compreso il granoturco. La manipolazione genetica dei batteri offre la speranza di poter un giorno conferire la capacità di fissare azoto a tutti i tipi di colture. Una prospettiva più immediata è in relazione alla scoperta di una sostanza poco costosa (nitropirina) che ritarda la trasformazione dell'ammoniaca in nitriti operata dai batteri nel terreno. Poiché l'ammoniaca viene trattenuta come ione ammonio dai colloidi del suolo, mentre i nitriti e i nitrati vengono asportati dall'acqua di percolazione, la nitropirina potrebbe ritardare la perdita di azoto dal terreno. Infine, la capacità di assorbimento delle radici di alcune piante è esaltata da un'intima associazione, chiamata micorriza, tra le radici stesse e un fungo. Il favorire tali associazioni potrebbe tradursi in un beneficio per certe colture, specialmente in terreni improduttivi o a basso contenuto di sostanze nutritive.

Nelle società industriali, numerosi possibili miglioramenti del rendimento agricolo rientrano nel quadro dei problemi legati alla riduzione degli sprechi. Molti materiali di scarto che ora vengono inceneriti o gettati via potrebbero essere restituiti al terreno migliorandone la fertilità, o potrebbero addirittura essere trasformati, attraverso l'alimentazione animale, in cibo per l'uomo. Rifiuti organici come quelli contenuti nelle acque di fogna, nei sottoprodotti delle industrie conserviere e nei concimi animali costituirebbero ricche fonti di sostanze nutritive per le piante. Circa il 44 per cento del peso vivo del bestiame da macello è immangiabile per l'uomo, ma possiede un elevato valore nutritivo come concentrato proteico per l'alimentazione animale. Si gettano via sostanze nutritive anche con i prodotti residui della macinatura dei cereali, dell'estrazione dell'olio, della lavorazione del pesce, della fermentazione. Miliardi di tonnellate di residui dei raccolti, compresa la paglia, gli scarti della canna da zucchero, la segatura, sono alimenti potenziali per i ruminanti. Soltanto negli USA 25 milioni di ettari sono coltivati a granoturco per i chicchi che contengono solo metà del potenziale energetico della pianta: l'altra metà, contenuta nel fusto e nel tubulo, potrebbe essere utilizzata nell'alimentazione degli animali. Lo stesso si potrebbe fare con gli escrementi del pollame e del bestiame, che infatti cominciano già a venire inclusi in diete per ruminanti. Un impiego più massiccio di questi abbondanti materiali di rifiuto e sottoprodotti è limitato soprattutto dall'elevato costo del trasporto.

La concorrenza dei ruminanti per quanto riguarda il consumo di proteine adatte all'alimentazione umana potrebbe essere ridotta, e fors'anche eliminata, sostituendo le proteine presenti nella loro dieta con altre fonti di azoto. Una vacca da latte alimentata con pastoni a base di materiali di scarto e di urea produce più proteine di quelle che consuma. L'efficienza del rumine potrebbe essere accentuata da adatti stimolanti e coadiuvanti della digestione. Un giorno potrebbe anche essere sfruttata la capacità di fissare azoto scoperta nei batteri che vivono nell'apparato digerente dei ruminanti.

Anche se l'uomo è divenuto un manipolatore dei cicli alimentari, è pur sempre un essere vivente e deve quindi rimanere a farne parte. Un sistema per la produzione di cibo, per essere valido, richiede un efficiente trasferimento di energia e di sostanze nutritive tra il terreno, le piante, gli animali e i microrganismi. I rapporti reciproci tra questi fattori possono essere sfruttati per ottenere benefici a breve termine oppure amministrati e regolati per garantire mezzi di sostentamento in una prospettiva a lungo termine. Questa realtà può essere ignorata soltanto a nostro rischio.

Il ciclo complessivo delle sostanze nutritive comprende l'uomo come consumatore finale e come architetto del sistema agricolo. I prodotti delle piante ad alto contenuto energetico come i cereali sono consumati dall'uomo direttamente o dopo essere stati trasformati attraverso gli animali. I materiali delle piante a minore contenuto energetico o che contengono elevate percentuali di cellulosa vengono trasformati attraverso i ruminanti, sfruttando in questo modo le capacità dei microrganismi che vivono nel rumine. La crescita delle colture donde traggono sostentamento sia il bestiame che la popolazione umana viene migliorata restituendo rifiuti al terreno e impiegando fertilizzanti.

Le piante e gli animali che nutrono l'uomo

La domesticazione, avvenuta nel corso di 10 000 anni, ha riguardato un numero relativamente ridotto di piante e di animali creando così una stretta dipendenza reciproca tra l'uomo e le specie da lui controllate

di Jack R. Harlan

L'uomo usufruiva un tempo di una dieta estremamente varia. Egli si è servito per la propria alimentazione di parecchie migliaia di specie di piante e di parecchie centinaia di specie di animali. Soltanto un numero relativamente ridotto di queste specie è stato però domesticato. Con gli inizi dell'agricoltura si manifestò la tendenza a concentrarsi sulle specie più produttive e più rimunerative in termini di fatica fisica e di capitale investito. Quando incominciarono a sorgere le città, l'elenco delle fonti di beni alimentari si ridusse un po', in quanto i contadini si misero a vendere alla popolazione urbana i raccolti e gli animali che assicuravano un lauto guadagno. Negli ultimi secoli la tendenza si è andata accentuando con l'industrializzazione e con l'avvento delle economie a carattere monetario.

La tendenza, secondo la quale un numero sempre maggiore di persone viene nutrito da un numero sempre più piccolo di alimenti di origine animale e vegetale, ha raggiunto oggi il punto in cui la maggior parte della popolazione mondiale dipende in maniera assoluta da poche specie di piante e di animali (*si veda la figura nella pagina successiva*). La produzione delle quattro colture che figurano in testa all'elenco è superiore in complesso a quella degli altri 26 raccolti messi assieme. Si tratta di un fenomeno relativamente recente, che non era affatto tipico delle tradizionali agricolture di sussistenza abbandonate via via nel corso di questi ultimi secoli. A mano a mano che la tendenza si accentua, l'uomo diventa sempre più vulnerabile. Le sue disponibilità alimentari vengono infatti a dipendere dal successo di un numero ridotto di specie, tanto che, se una di queste viene a mancare, può conseguirne automaticamente la morte per fame di milioni di persone. Abbiamo imboccato una strada che conduce a una forte dipendenza da poche specie e, a quanto pare, non è più possibile tornare indietro.

Dove, quando e come l'uomo incominciò questo viaggio lungo e fatale? Venti anni fa il «dove» era una domanda a cui era facile dare una risposta. Se si voleva localizzare l'origine di una pianta domesticata, tutto quello che bisognava fare era di consultare gli scritti di N.I. Vavilov, lo studioso di genetica che fu a capo dell'Accademia Lenin di scienze agrarie dell'Unione Sovietica dal 1920 al 1940. Vavilov organizzò spedizioni per la raccolta di piante su scala mondiale, radunò una quantità enorme di materiale, analizzò le raccolte e identificò i «centri di origine» geografici sulla base dello schema delle variazioni rilevate tanto nelle colture domestiche quanto nei loro parenti selvatici. Egli concluse che di questi centri ne esistono otto: sei nel Vecchio Mondo e due nel Nuovo.

L'opera di Vavilov è monumentale e il suo influsso sugli studiosi di agraria di tutto il mondo è stato enorme. Studi compiuti da allora indicano però che la storia della domesticazione delle piante è molto più complicata di quanto si fosse pensato. Dalle prove raccolte a tutt'oggi risulta che molte colture o non ebbero origine nei centri indicati da Vavilov o ebbero origine in più di un centro. A quanto pare molte colture si sono andate evolvendo in un'area molto ampia: non c'è la minima prova di un unico centro di origine. Per altre colture non si può dire niente di preciso per mancanza di prove adeguate.

Ai tempi di Vavilov, gli studiosi consideravano l'agricoltura un sistema rivoluzionario per procurarsi il cibo, un sistema che si era sviluppato in uno o due focolai e che si era diffuso su tutta la faccia della Terra, sostituendo i più vecchi sistemi della caccia e della raccolta. La deliberata domesticazione delle piante e degli animali per ricavarne alimenti era considerata una scoperta o un'invenzione così radicale e così complessa da essersi potuta sviluppare soltanto una volta (o forse due), dopo di che il sistema si era diffuso per stimolo naturale. I popoli cacciatori che venivano a contatto con gli agricoltori notavano e apprezzavano subito gli enormi vantaggi dell'agricoltura e si affrettavano ad andare a fare la stessa cosa. Le prove che si sono accumulate in anni recenti, e in particolare nell'ultimo decennio, tendono a delineare un quadro quasi completamente diverso. L'agricoltura non è un'invenzione o una scoperta e non è così rivoluzionaria come si era pensato; inoltre essa venne adottata pian piano e con riluttanza.

Le testimonianze attuali indicano che l'agricoltura si sviluppò con un processo di estensione e di intensificazione di quello che la gente faceva già da parecchio tempo. Via via che si esamina più particolareggiatamente la domesticazione delle piante e degli animali, quelli che una volta apparivano dei centri ben definiti tendono a dissolversi o a farsi vaghi e indistinti. Il mio punto di vista personale è cambiato con le nuove prove raccolte e quello che pensavo e scrivevo venti anni fa assomiglia ben poco alla

Nella pagina a fronte sono raffigurate alcune colture egiziane dell'ultima metà del secondo millennio a.C. Il dipinto originale si trova in una tomba nei pressi della capitale reale di Tebe. I disegni a lisca di pesce rappresentano l'acqua. Il frumento color marrone rossiccio che viene mietuto con la falce è il *Triticum dicoccum*, una specie antica comune in Egitto fino al quarto secolo a.C. Nel pannello sottostante una coltura di lino. La pianta, dal fusto alto e verde, viene sradicata, secondo il normale sistema di raccolta. A destra, un contadino sta scavando un solco, seguito dalla moglie che provvede alla semina. L'aratro è tirato da una coppia di buoi. Nel pannello successivo, gli alberi con i frutti a grappolo sono palme da dattero e quelli con i frutti più grandi sono palme dum, gli alberi color verde pallido sono piante di fico, il *Ficus sycomorus*, ossia il sicomoro della Bibbia. Sul pannello in basso si vedono delle piante acquatiche.

Coltura	Produzione annua (milioni di tonnellate)
FRUMENTO	360
RISO	320
GRANOTURCO	300
PATATA	300
ORZO	170
PATATA DOLCE	130
MANIOCA	100
UVA	60
SOIA	60
AVENA	50
SORGO	50
CANNA DA ZUCCHERO	50
MIGLIO	45
BANANE	35
POMODORO	35
BARBABIETOLA DA ZUCCHERO	30
SEGALE	30
AGRUMI	30
NOCE DI COCCO	30
OLIO DI SEMI DI COTONE	25
MELE	20
IGNAME	20
ARACHIDI	20
COCOMERO	20
CAVOLO	15
CIPOLLA	15
FAGIOLI	10
PISELLI	10
SEMI DI GIRASOLE	10
MANGO	10

PRODUZIONE ANNUA (MILIONI DI TONNELLATE)

Fra queste trenta colture di primaria importanza ve ne sono sette con un raccolto annuo di 100 o più milioni di tonnellate. La produzione totale delle prime sette colture dell'elenco è pari a più del doppio di quella delle altre 23. La canna da zucchero e la barbabietola da zucchero sono indicate separatamente, ma i vari tipi di miglio sono stati messi tutti insieme. Non figurano le colture con produzione annua inferiore ai 10 milioni di tonnellate.

mia valutazione attuale della situazione.

Lo schema innovativo che si va ora delineando è complesso, diffuso e di non facile definizione. Per esempio, si trovano prove di domesticazione dei maiali in tutta l'area compresa fra l'Europa e l'Estremo Oriente. Animali domestici di vario genere furono addomesticati in una grandissima parte di questa stessa area. Per quel che riguarda le piante, si può fare lo stesso discorso per il riso in Asia, per il sorgo in Africa e per i fagioli nelle Americhe (*si veda la figura in alto nelle due pagine successive*). I progenitori selvatici di queste piante d'uso alimentare sono ampiamente distribuiti e in tutta questa loro estensione spaziale furono manipolati da vari popoli. Ognuno può essere stato domesticato ripetutamente in epoche diverse in diversi luoghi, o può essere stato portato nell'ovile domestico simultaneamente in parecchie regioni. Non è possibile, per lo meno, indicare con sicurezza o precisione nessun centro unico di origine per queste piante e per questi animali particolari.

Per lo stesso motivo, se la pianta o l'animale in questione non si diffusero mai molto lontano, o lo fecero soltanto in tempi storici recenti, il quadro di solito è abbastanza chiaro e noi possiamo fissare un centro di origine con una certa sicurezza. Due specie di buoi, per esempio, il mithan (*Bos gaurus*) e lo yak (*Bos grunniens*), sono diffusi su un'area piuttosto limitata e pare probabile che siano stati domesticati all'interno della loro attuale distribuzione: il *Bos gaurus* fra le tribù delle montagne della Birmania nordoccidentale, dell'Assam e del Bhutan, e lo yak nel Tibet e nelle regioni montuose limitrofe. Il girasole era coltivato, senza però che gli venisse data eccessiva importanza, dagli indiani che vivevano nel territorio occupato oggi dagli Stati Uniti e soltanto di recente è diventato una coltura di primissimo piano nell'Europa orientale per via dei suoi semi oleosi. Un'altra pianta diventata importante sulla scena mondiale soltanto in questi ultimi decenni è la palma da olio africana; la sua storia si può ripercorrere facilmente.

La possibilità di domesticazioni indipendenti complica chiaramente le cose in maniera enorme. In alcuni casi tuttavia le prove sono abbastanza evidenti. Sembra, per esempio, che il fagiolo di Lima a seme grande (*Phaseolus limensis*) sia stato domesticato nell'America meridionale mentre il fagiolo a sciabola a seme piccolo (*Phaseolus lunatus*) in Messico. Una sola specie di riso fu domesticata in Asia e un'altra in Africa.

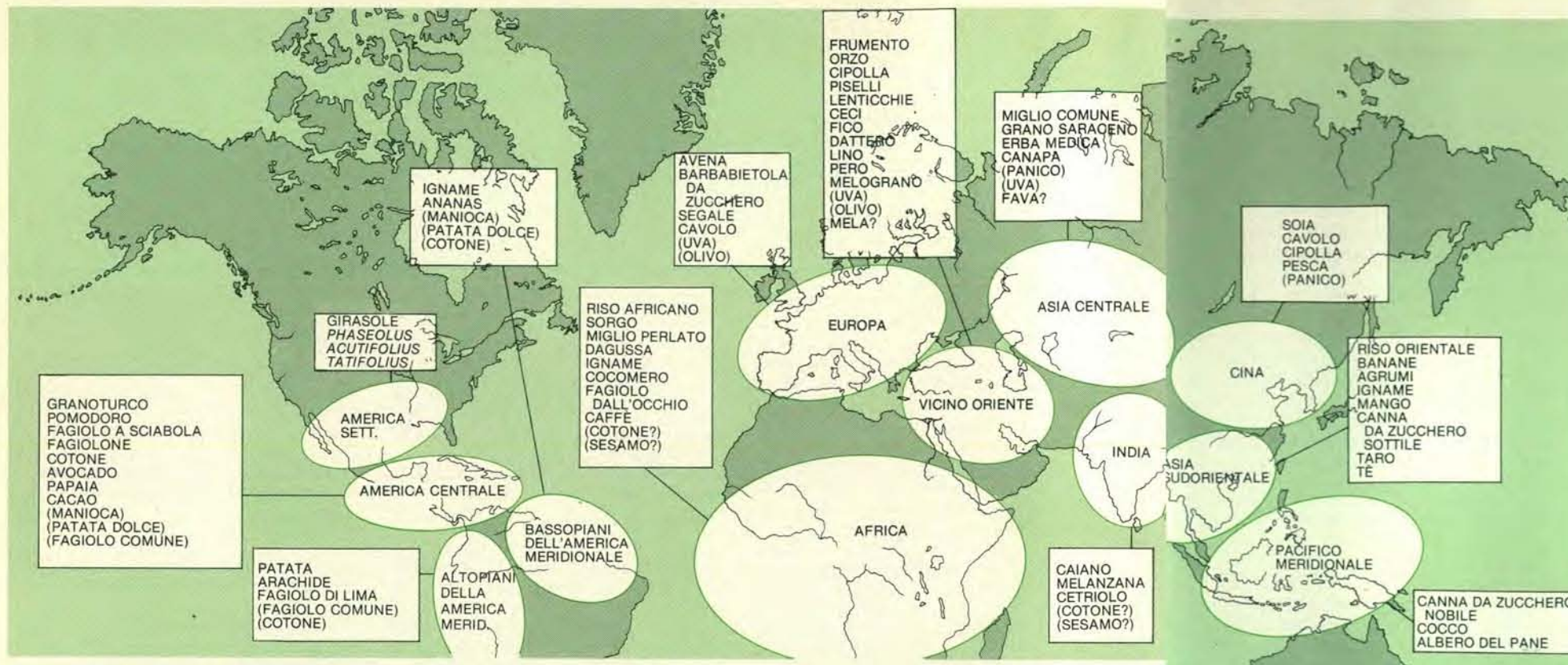
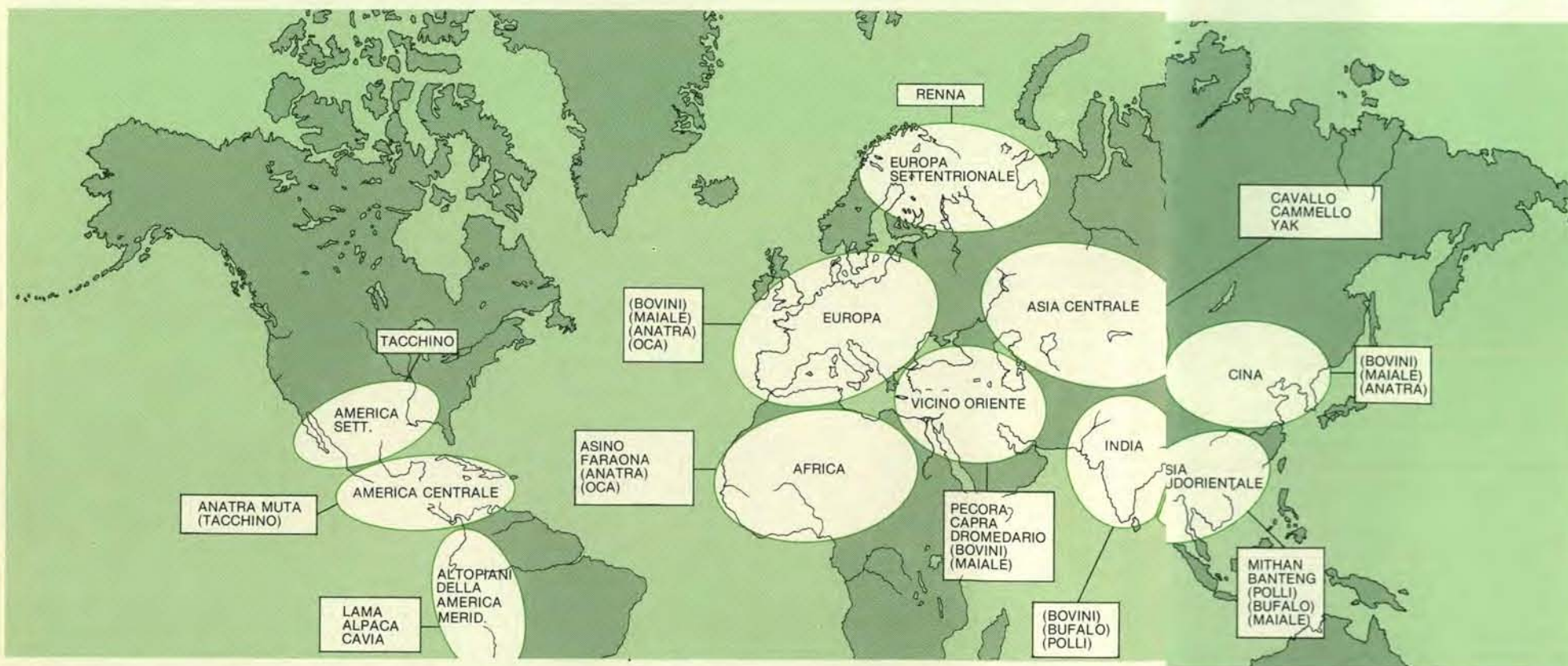
Secondo le statistiche della FAO, sette fonti principali hanno prodotto in tutto il mondo nel 1974 un totale di 100 milioni di tonnellate di carne. Il contributo maggiore è stato quello offerto dalla popolazione suina mondiale: 42,5 milioni di tonnellate. Seguono, in seconda posizione, il manzo e il vitello, qui considerati insieme. Al terzo posto vengono i polli, i tacchini e le anatre.

Una certa specie di cotone fu domesticata in India o in Africa, un'altra nell'America meridionale e una terza nell'America centrale. Cinque specie di melone e cinque di peperoncino (*Capsicum*) furono domesticate in un'area che va dal Messico all'Argentina. Diverse specie di igname furono domesticate nell'Africa occidentale, nell'Asia sudorientale e nell'America tropicale. Diverse razze di rafano furono domesticate, indipendentemente le une dalle altre, in Giappone, in Indonesia, in India e in Europa. Là, dove le specie e le razze sono chiaramente distinguibili, possiamo di solito mettere in chiaro la loro storia. Là, dove invece non è possibile separare nettamente le varie razze di un progenitore selvatico, le testimonianze relative alle origini possono essere invero molto incerte. In molti casi, inoltre, le testimonianze sono insufficienti, per mancanza di indagini serie.

Tale è probabilmente il caso di parecchie colture dalle origini oscure. Il cotone e il sesamo dai semi oleosi del Vecchio Mondo potrebbero avere origini o indiane o africane, o indiane e africane al tempo stesso. Noi non sappiamo se e dove la zucca del pellegrino (*Lagenaria siceraria*) cresca genuinamente selvatica. In realtà spesso è difficile distinguere le razze genuinamente selvatiche di una pianta dalle razze inselvatichite o da quelle infestanti. In alcuni casi gli schemi originali di distribuzione possono essere diventati tanto oscuri da far scomparire ogni prova.

Fra le colture alimentari di maggior rilievo presentate nell'illustrazione della pagina a fronte, parecchie hanno occupato una posizione di secondo piano sulla scena mondiale fino a non molto tempo fa. La patata era limitata in gran parte alle regioni montuose delle Ande finché gli europei non arrivarono nella zona nel XVI secolo. Essa fu portata in Europa poco dopo, ma non era molto adatta alle condizioni agricole locali, ed entrò in un periodo di acclimatazione, soprattutto per abituarsi al regime di giornate lunghe caratteristico delle estati europee. Alla fine la patata trovò una dimora congeniale nell'Europa settentrionale e divenne così produttiva da provocare, a detta di alcuni storici, una piccola esplosione demografica. Dal punto di vista mondiale, colture come la canna da zucchero, la barbabietola da zucchero, la soia, gli agrumi, il pomodoro, le arachidi, la patata dolce e il girasole hanno dato un contributo importante alle disponibilità alimentari solo in data relativamente recente. I semi di cotone, come fonte di primo piano di olio commestibile, sono un prodotto di questo secolo.

Una cosa da tenere sempre presente quando si parla del «dove» della domesticazione, è che le piante e gli animali sottoposti al processo di domesticazione cambiano radicalmente col tempo e le forme che oggi ci sono familiari possono essere notevolmente diverse dalle forme degli antichi progenitori. Il frumento ne è un buon esempio. Tre tipi di frumento furono domesticati originariamente dalle graminacee selvatiche: tutti e tre oggi sono così obsoleti da non essere quasi più coltivati. Uno era una pianta diploide (vale a dire, una pianta con sette coppie di cromosomi), chiamato farro piccolo (*Triticum monococcum*). Probabilmente fu domesticato nella Turchia sudorientale e fu sempre una coltura di secondo piano. Il farro piccolo si diffuse bensì nell'Europa occidentale, ma non raggiunse mai l'Egitto e non fece un solo passo verso oriente dal suo punto di origine.

Il secondo tipo di frumento era tetraploide (vale a dire, aveva 14 coppie di cromosomi); chiamato farro grande (*Triticum dicoccum*) era, ai suoi tempi, di gran lunga il migliore di tutti e tre. L'ipotesi più attendibile è che il farro grande abbia avuto origine in Palestina e/o

Sulla cartina sono indicate le zone dove furono domesticate alcune piante. I confini di tali zone sono generalizzati. Eccezion fatta per il frumento, i nomi di generi o specie domesticati autonomamente in varie zone appaiono nelle rispettive aree: per esempio il cotone, l'igname e i vari tipi di miglio. Dove la stessa specie fu domesticata, certamente o probabilmente, in maniera autonoma, il nome figura fra parentesi; è il caso, per esempio, del fagiolo comune, della patata dolce, dell'olivo e dell'uva. Dove esistono dei dubbi sull'area della domesticazione, il nome è seguito da un punto interrogativo. Sono state incluse colture con produzione annua inferiore a 10 milioni di tonnellate, come lenticchie, caffè e tè.

Su questa cartina sono indicate le zone in cui furono domesticati alcuni animali; anche qui, come nella cartina relativa alla domesticazione delle piante, i confini delle zone sono generalizzati. Oltre alle sei specie di mammiferi e alle tre specie di uccelli che dal punto di vista numerico sono i principali animali domestici dell'uomo, figurano altri animali preziosi per la carne, per il lavoro o per il trasporto. Il nome di quegli animali che furono domesticati, certamente o probabilmente, in modo autonomo in più di una zona, è stato messo tra parentesi.

nella Turchia sudorientale. Per qualche millennio fu il tipo di grano prevalente. Si diffuse in tutta l'Europa, nell'Africa settentrionale, in Egitto e in Arabia e raggiunse l'Etiopia, dove viene ancora coltivato su scala ragguardevole. Il *Triticum dicoccum* fu il frumento dell'Egitto, finché non fu sostituito dal grano tenero da farina dopo la conquista dell'Egitto da parte di Alessandro Magno nel IV secolo a.C. Fuori dell'Etiopia, il *Triticum dicoccum* continua a esistere come raccolto molto marginale in Iugoslavia e nell'India meridionale.

Anche il terzo tipo di frumento domesticato era tetraploide. Era così poco importante da non aver mai avuto un nome comune, bensì solo quello scientifico di *Triticum timopheevii.* Esso ebbe origine nella Georgia transcaucasica ed è diffuso soltanto come varietà adatta per gli studi di genetica.

Il frumento che coltiviamo oggi non ha niente a che fare con questi primi tre esemplari domesticati. Oggi questi tre tipi di grano sono detti frumenti glumacei, perché la spiga, vale a dire l'infiorescenza che porta i chicchi, si spezza quando viene trebbiata, lasciando ogni chicco racchiuso, come in una conchiglia, in una gluma dura, o loppa. Per liberarli dalle glume, è quindi necessario trattare i chicchi di nuovo, pestandoli di solito in un mortaio. Qualche tempo dopo la domesticazione del *Triticum dicoccum,* si ebbe una mutazione, grazie alla quale la base della gluma cadeva alla maturazione, liberando il chicco. Nel medesimo tempo la spiga divenne dura, tanto da non spaccarsi più come facevano le spighe ancestrali. Il farro così mutato, che non aveva più bisogno di battitura, è l'antenato dei nostri grani duri.

La specie di frumento più importante del mondo, quella che contribuisce maggiormente al raccolto annuo di 360 milioni di tonnellate, è di un altro tipo ancora, detto generalmente grano tenero da farina. Si tratta di una pianta esaploide, di una pianta cioè con 21 coppie di cromosomi, che fece la sua comparsa molto tempo dopo la domesticazione iniziale dei tre frumenti glumacei primitivi. La dotazione supplementare di cromosomi le veniva da un grano selvatico, noto col nome di *Triticum tauschii,* e la distribuzione del progenitore selvatico fa pensare che l'ibridazione possa essere avvenuta in qualche posto vicino all'estremità meridionale del Mar Caspio. Il *Triticum tauschii* è l'unica specie di grano selvatico distribuito su scala continentale e può darsi che abbia contribuito all'adattamento che rende possibile la coltivazione del grano tenero da farina nelle steppe aride del mondo. Come graminacea selvatica, il *Triticum tauschii* non ha praticamente nessun valore, ma come apportatore di caratteristiche genetiche ha letteralmente tramutato in coltura da un miliardo di dollari una coltura che prima valeva solo un milione di dollari.

La parola frumento ha pertanto parecchi significati. I frumenti moderni sono completamente diversi dai primitivi frumenti glumacei che furono domesticati per primi. L'origine del frumento possiamo assegnarla al Vicino Oriente, a patto di non limitare troppo la zona. La prima evoluzione del frumento ebbe luogo in un'area che si estendeva dalla Palestina al Caucaso e al Caspio meridionale. Al pari di tutte le altre piante domestiche, tuttavia, il frumento si va ancora evolvendo e modificando.

A questo punto è possibile elencare in maniera analoga altre piante e altri animali domestici importanti, insieme con le nostre migliori ipotesi relative alle loro origini geografiche. In molti casi però, a causa degli schemi di domesticazione molto diffusi, è necessario includere una stessa specie in più di una regione e in qualche caso è giocoforza ricorrere al punto interrogativo per pura ignoranza.

Le cose non vanno molto meglio quando si vuol rispondere al «quando» della domesticazione, sebbene ogni anno che passa aggiunga qualcosa di nuovo alle nostre conoscenze. Si è detto spesso, per esempio, che il cane è stato il primo animale a essere addomesticato. Fino a non molto tempo fa, questa convinzione non era confortata da nessuna prova sicura, ma ora denti e mascelle di cani domestici sono stati identificati e datati intorno al 12 000 a.C. nel Vecchio Mondo (Iraq) e intorno all'11 000 a.C. nel Nuovo Mondo (Idaho). In ogni continente l'uomo ha mangiato carne di cane, ma probabilmente i cani non furono mai ritenuti importanti come animali da macello, se non in qualche parte del Nuovo Mondo prima dell'arrivo degli europei.

A parte le due date relative ai cani, non si trovano molte testimonianze di domesticazione di animali fin verso il 9000 a.C. Anche qui i dati sono piuttosto vaghi e niente affatto conclusivi. Zawi Chemi Shanidar è un sito archeologico dell'Iraq, dove Ralph S. Solecki ha compiuto scavi negli anni sessanta; le ossa animali portate alla luce in quell'occasione sono state analizzate da Dexter Perkins, Jr. Ora, se uno trova le ossa giuste, è possibile distinguere fra le capre e le pecore che hanno meno di un anno di vita da quelle che hanno più di un anno. Vicino al fondo degli scavi di Solecki, i resti di pecore e di capre inferiori all'anno di vita costituivano circa il 25 per cento dell'intero ritrovamento. Verso la sommità, dove i resti erano più recenti, aumentava il rapporto fra le ossa di pecora e quelle di capra, e circa il 50 per cento delle pecore aveva meno di un anno di vita. L'implicazione è che a Shanidar la gente aveva raggiunto un notevole controllo sulla popolazione delle pecore, ma non su quella delle capre.

È anche possibile, date le ossa giuste, determinare il sesso di un animale. In alcuni siti archeologici è stata scoperta la presenza di ossa di un'alta percentuale di animali maschi giovani. Questa di per sé non è una prova di domesticazione; rapporti analogamente anomali di sesso e di età si trovano fra i resti di elafi (*Cervus elaphus*) in alcune località mesolitiche

europee e fra i resti di gazzelle in alcuni punti del Vicino Oriente. Sia gli elafi sia le gazzelle sono considerati selvaggina, ma tanto gli uni quanto le altre si possono addomesticare. La prova della domesticazione è difficile da ottenere dalle ossa, a meno che non siano implicati mutamenti di carattere morfologico. Tuttavia questi ritrovamenti fanno pensare effettivamente a una manipolazione di qualche genere e indicano con certezza che già nel lontano Mesolitico l'uomo aveva sia la capacità sia la tecnica di compiere stragi selettive. Questo a sua volta fu probabilmente un primo passo verso un'interazione sempre più intima dell'uomo con gli animali di cui egli si serviva come alimento.

Un secondo sito archeologico del Vicino Oriente, Ali Kosh, nell'Iran, potrebbe essere stato occupato già nel 7500 a.C. La datazione dei suoi livelli inferiori è incerta, ma in uno degli strati più bassi è stato portato alla luce il cranio di alcune pecore femmine senza corna. Le pecore selvatiche, maschi o femmine che siano, hanno sempre le corna, per cui si è pensato che il cranio senza ossa stesse a indicare la presenza ad Ali Kosh di pecore domestiche. In quello stesso sito, le ossa di capra sono molto più abbondanti di quelle di pecora e una percentuale elevata di queste ossa appartiene ad animali maschi.

Cayönü, un antico villaggio agricolo della Turchia, fu oggetto di scavi per la prima volta nel 1964 a opera di Robert J. Braidwood e Halet Çambel. Il villaggio era stato occupato dai suoi primi abitanti forse un po' prima del 7000 a.C.; sono state rinvenute le ossa di pecore, maiali, cani e probabilmente capre domestici. Resti di capre domestiche con le corna ritorte sono presenti a Jarmo, nell'Iraq, un sito che risale circa al 6750 a.C. Le corna ritorte sono caratteristiche delle varie specie addomesticate e non delle capre selvatiche.

I resti più antichi di bovini domesticati di cui si abbia notizia fino a questo momento sono stati rinvenuti in Grecia e risalgono intorno al 6500 a.C. A quell'epoca a quanto pare gli animali di quella specie venivano adorati già da parecchio tempo. A Çatal Hüyük, un sito turco che è stato oggetto di scavi da parte di James Mellaart e che risale intorno al 6500 a.C., furono scoperti più di 50 santuari, la maggior parte dei quali erano decorati con teste e corna di toro. I bovini gibbosi, che oggi noi associamo all'India, sono rappresentati da figurine mesopotamiche che risalgono intorno al 3000 a.C., mentre in India non sono documentati fin verso il 2500 a.C. Non abbiamo nessuna informazione sull'antichità di altri bovidi, come il banteng (*Bos javanicus*) della Malaysia, il mithan (*Bos gaurus*) e lo yak (*Bos grunniens*). Il bufalo indiano (*Bubalus bubalis*) si sa che fu domesticato in India verso il 2500 a.C., ma avrebbe potuto essere utilizzato come animale da tiro e come fonte di carne e di latte molto prima di allora.

L'asino era noto come animale domestico in Egitto già nel 3000 a.C., e può anche darsi che sia stato sfruttato molto prima di quella data, mentre non è mai stato molto adoperato come fonte di carne alimentare. Il cavallo, per contro, è stato per molti popoli una fonte di carne e di latte. Il latte di puledra fermentato è ancora popolare in Asia e mezzo milione di tonnellate di carne di cavallo viene mangiata ogni anno in tutto il mondo (*si veda l'illustrazione a pagina 65*). Si pensa che il cavallo sia stato domesticato per la prima volta nell'Asia centrale e nella Russia meridionale verso il 3000 a.C. La renna, un animale domestico ora molto comune in Scandinavia e in URSS, fu imbrancata probabilmente in data molto antica, ma non disponiamo di nessuna prova sicura in proposito. Fra i camelidi, le nostre migliori congetture suggeriscono il 2000 a.C. per il dromedario e il 1500 a.C. per il cammello; più o meno le stesse date sono valide probabilmente anche per i camelidi del Nuovo Mondo, il lama e l'alpaca. Il porcellino d'India delle Ande era probabilmente già stato addomesticato nel 2000 a.C.

Da sinistra a destra le prime tre specie di frumento domesticate: il farro piccolo (*Triticum monococcum*), coltivato un tempo in Turchia e in Europa, il farro grande (*Triticum dicoccum*), coltivato un tempo nel Vicino Oriente, in Africa e in Europa, e un terzo esemplare noto solo col nome scientifico di *Triticum timopheevii*. Vengono poi i principali grani moderni: il grano duro (*Triticum durum*), discendente di un *Triticum dicoccum* di mutazione, e il grano tenero da farina (*Triticum aestivum*), un incrocio fra il *Triticum dicoccum* e il grano selvatico.

Molti siti del Vicino Oriente hanno fornito anche resti antichi di natura vegetale. A Shanidar non ne sono stati rinvenuti affatto, ma ad Ali Kosh sono stati portati alla luce chicchi di *Triticum dicoccum* e di *Triticum monococcum* datati intorno al 7000 a.C. e dell'orzo di data un po' più recente. *Triticum dicoccum, Triticum monococcum,* orzo, piselli, lenticchie, veccia e lino sono stati rinvenuti a Cayönü. Jarmo aveva *Triticum dicoccum, Triticum monococcum,* orzo, piselli, lenticchie e veccia; e una serie analoga di piante d'uso alimentare, datate anch'esse intorno al 7000 a.C., è stata portata alla luce a Gerico negli strati neolitici anteriori all'epoca del vasellame. Altri siti documentano abbastanza chiaramente prima l'avanzamento dell'agricoltura in Grecia e nei Balcani e poi la sua diffusione a ventaglio in tutta Europa.

Il taglio dei nostri dati ha indotto molti a concludere che il Vicino Oriente fu il centro della domesticazione di piante e animali del Vecchio Mondo. Abbiamo una discreta quantità di informazioni per quella parte del mondo e una documentazione ancora migliore per l'Europa. È consigliabile però una certa cautela; nessun'altra parte del mondo è stata esplorata altrettanto bene (eccezion fatta per l'America settentrionale, dove l'agricoltura arrivò relativamente tardi). Sull'Africa, per esempio, non abbiamo quasi nessuna informazione archeologica del

Pare che le più antiche domesticazioni di piante e di animali abbiano avuto luogo circa nella stessa epoca. Sulla cartina sono segnate aree generali o specifici siti archeologici del Vecchio e del Nuovo Mondo dove i resti di piante (*in colore*) e animali suggeriscono o confermano la domesticazione alla data indicata. I dati implicano un'invenzione autonoma.

tipo di cui invece disponiamo per il Vicino Oriente e per l'Europa. In Africa sono stati, sì, portati alla luce dei resti vegetali, fra cui quelli del sorgo, del miglio perlato e del dagussa (*Eleusine coracana*), ma tutti i siti sono troppo recenti per poterci dire molto. Prove indirette, come la scoperta di mortai e di macine, e di lame di selce con un tipo particolare di lucentezza o splendore, che potrebbero essere state usate per mietere graminacee, appaiono nella valle del Nilo già verso il 12 000 a.C., ma non sappiamo quali fossero le piante coltivate.

La situazione è più o meno la stessa in India, dove in molti siti sono stati trovati materiali vegetali, ma dove la maggior parte dei ritrovamenti sono troppo recenti per dare qualche informazione sugli inizi dell'agricoltura. In India sono stati trovati frumento e orzo provenienti dall'occidente, riso di origine orientale e sorgo e miglio arrivati dall'Africa, ma non si ha ancora nessuna prova sicura di antiche domesticazioni indigene.

Il Neolitico cinese è stato studiato su scala molto ridotta. La cultura *yang shao* è ora abbastanza ben conosciuta, e alcuni siti, come Pan P'o, hanno fornito materiali di origine vegetale. Tuttavia questo villaggio neolitico fu abitato per la prima volta soltanto verso il 4000 a.C. Inoltre esso contiene vasellame piuttosto raffinato e appare troppo grande, complesso e sofisticato per rappresentare gli inizi dell'agricoltura nell'Estremo Oriente. Il panico era la principale coltura alimentare di quel tempo e di quel luogo.

Nell'Asia sudorientale il lavoro in pratica è appena incominciato. Antichi materiali di origine vegetale sono stati rinvenuti in alcuni siti della Thailandia e ci sono perfino testimonianze di primitive lavorazioni agricole nella remota Nuova Guinea. Per il momento le informazioni sono troppo poche e frammentarie per permettere di trarre conclusioni definitive. Ciononostante, vi sono accenni al fatto che gli abitanti della regione compissero lavorazioni agricole primitive nella stessa epoca antica delle popolazioni del Vicino Oriente.

Nelle Americhe la situazione non è molto migliore e neppure molto diversa. Sono disponibili enormi quantità di materiali di origine vegetale, meravigliosamente conservati, rinvenuti nelle zone costiere del Perù, ma questa non è una regione adatta alle innovazioni agricole. Scavi compiuti da Richard S. MacNeish nel Tamaulipas e nella valle di Tehuacán in Messico ci hanno dato una serie successiva di sedimenti che fanno pensare a uno sfruttamento agricolo rudimentale verso il 7000 a.C., e hanno portato alla luce materiale di epoca più tarda relativo a piante domesticate che risalgono forse al 6000 e certo al 5000 a.C. A quell'epoca il mais era già coltivato a quanto pare a Tehuacán, assieme al melone e alla zucca, e i fagioli fecero la loro comparsa prima del 3000 a.C. Tehuacán però è troppo arida per essere stata centro di sviluppi agricoli. Sembra più probabile invece che li venissero registrati a volte certi fatti che avvenivano in altri luoghi, mentre la valle stessa era al di fuori della corrente principale delle innovazioni agricole. Le ricerche di MacNeish a Ayacucho in Perù sono forse più rivelatrici. Pur non essendo riuscito a trovare le prove di un'agricoltura antica nelle regioni montuose delle Ande, MacNeish ha tuttavia scoperto materiali di origine vegetale nelle valli tra i monti, dove fagioli comuni e fagioli di Lima pienamente domesticati venivano coltivati già nel 6000 a.C. Nell'America meridionale, pertanto, l'agricoltura potrebbe essere una tradizione tanto antica quanto lo è nel Vicino Oriente e nell'Asia sudorientale.

Tutto sommato, così come stanno le cose, le prove relative al «quando» sembrano così disperse e imprecise come quelle relative al «dove». Questo è dovuto solo in parte a un insufficiente lavoro di ricerca. Alcune delle incertezze sono certamente dovute al modo in cui avvenne la domesticazione. Per ragioni sulle quali è possibile solo fare delle congetture, pare che in varie parti del mondo la gente abbia dato l'avvio ai processi della domesticazione più o meno nello stesso periodo di tempo. E tale periodo non è molto posteriore alla glaciazione pleistocenica finale, quando le grandi distese di ghiaccio si erano sciolte e le acque dei mari erano salite più o meno al loro livello attuale.

Con il «quando» e il «dove» della domesticazione rimasti ancora un po' incerti, che dire del «come»? Si potrebbe incominciare facendo rilevare che non di rado si fa confusione fra coltivazione e domesticazione di una pianta. La parola coltivazione si riferisce agli sforzi dell'uomo di curare le piante; in questo senso è perfettamente possibile coltivare piante selvatiche. Domesticazione, dal latino *domus*, che significa casa, vuol dire portare in casa, e quindi vuol dire molto di più di coltivazione. La domesticazione comporta delle mutazioni genetiche che rendono una pianta più adatta alle condizioni di un ambiente creato dall'uomo e meno adatta alle condizioni di un ambiente naturale. In maniera analoga, si può domare un animale selvaggio senza domesticarlo. Non di rado tuttavia l'alterazione genetica implicata nel processo di domesticazione viene portata al punto in cui una pianta o un animale pienamente domesticati sono adatti esclusivamente a un ambiente artificiale e non possono più sopravvivere allo stato libero di natura.

Nella zona occidentale dell'America settentrionale vi sono cavalli, bovini e cammelli che sono sfuggiti alla domesticazione in tempi storici e sono sopravvissuti. Le pecore che sfuggono alla domesticazione, d'altro canto, non hanno molte probabilità di sopravvivere, a meno che non si provveda a proteggerle dai predatori. Le capre che sfuggono alla domesticazione si trovano a loro agio se non vi sono predatori, come avviene quando esse si rifugiano in un'isola; quando invece nella zona sono presenti dei predatori, le capre se la cavano piuttosto male. Analogamente, le razze domesticate di mais, frumento, riso, patate, e la maggior parte delle altre colture morirebbero senza l'intervento dell'uomo.

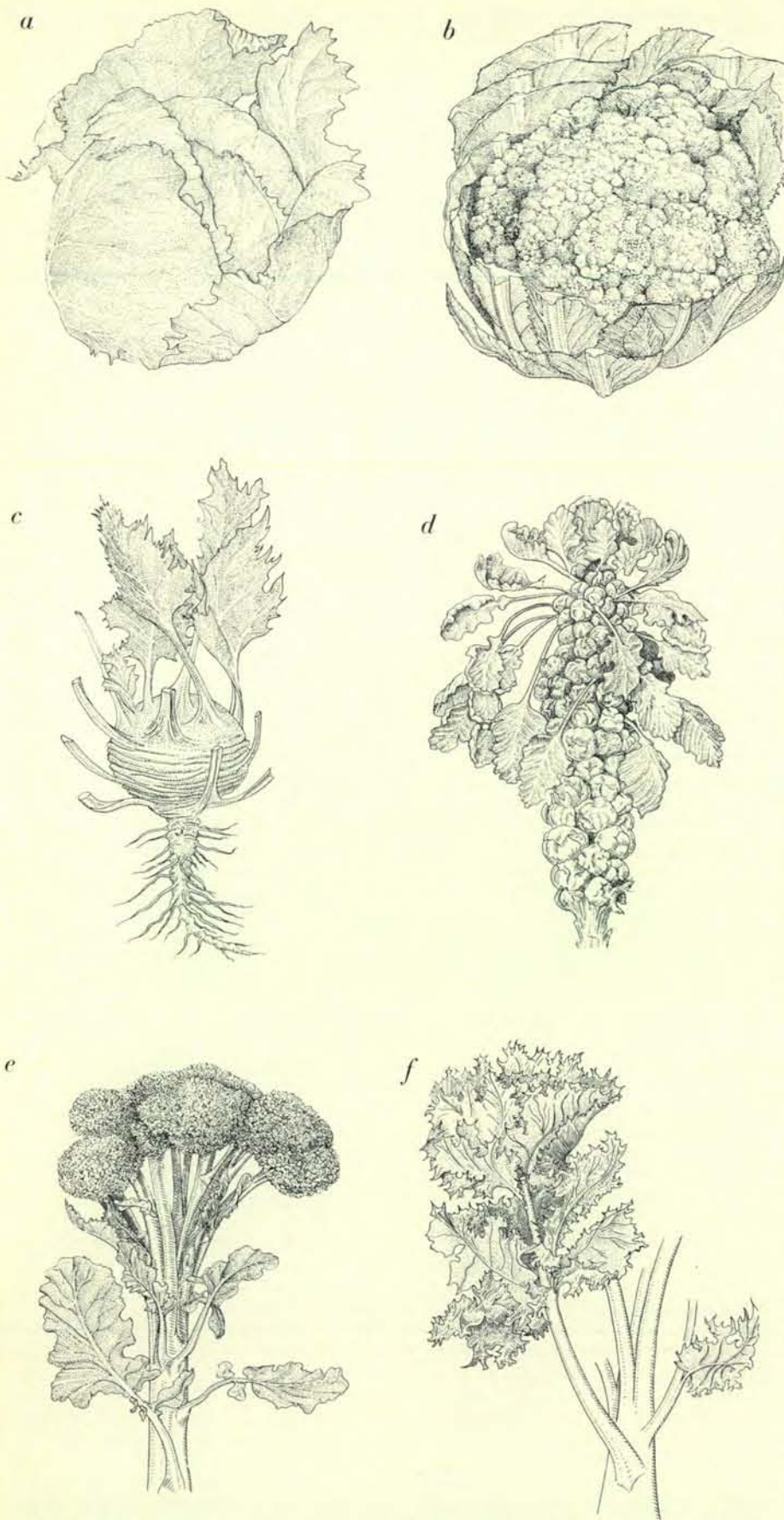
Essendo un processo evolutivo, la domesticazione si presenta in vari gradi ed esiste quindi una vasta gamma di stadi intermedi fra le razze selvatiche e le razze completamente domesticate che dipendono in tutto e per tutto dall'uomo per la sopravvivenza. In effetti tutti questi stadi intermedi si possono trovare all'interno di una stessa specie. Della maggior parte delle piante che noi coltiviamo, esistono razze selvatiche, razze infestanti e razze domesticate. Quelle selvatiche possono sopravvivere senza bisogno dell'uomo. Le razze infestanti sopravvivono a causa dell'uomo (e nonostante i suoi sforzi per liberarsi di esse) e quelle domesticate richiedono cura e coltivazione per la sopravvivenza. Le piante infestanti sono specie o razze che crescono rigogliose negli habitat creati dall'uomo; le nostre colture hanno quasi tutte in qualche posto razze infestanti. È il caso del grano, del riso, del mais, delle patate, dell'orzo e così via. Queste razze si propagano rapidamente, ma in un habitat che sia modificato dall'uomo.

Questo genere di adattamento non è limitato alle piante. I cani, i gatti e i maiali diventano presto selvatici. I colombi che vivono intorno alle statue, i passeri e gli storni crescono vigorosi anche in mezzo ai disturbi intensi prodotti dall'uomo, come avviene nelle città. Il topo domestico, il ratto delle chiaviche, la mosca domestica e il moscerino della frutta stanno tutti bene negli habitat artificiali creati dall'uomo.

Da studi recenti risulta che le razze infestanti possono avere origini diverse. Anche le piante genuinamente selvatiche possono mostrare la tendenza a diventare infestanti; in fin dei conti, molti ambienti naturali, quali le rive costiere, le sponde dei fiumi, i margini dei ghiacciai e i ripidi pendii delle scarpate sono instabili, mentre altri sono soggetti a disturbi come gli incendi, le valanghe, gli scarichi e altre cose del genere. Molte specie selvatiche occupano queste nicchie e alcune delle piante che coltiviamo derivano da piante selvatiche dotate proprio di tali tendenze colonizzatrici. Altre razze infestanti derivano da incroci naturali fra razze selvatiche e razze domesticate e altre ancora derivano da esemplari incolti di piante semidomesticate. L'ibridazione fra le piante coltivate e le razze affini infestanti ha avuto la sua parte nell'evoluzione delle colture, aumentando la diversità e sviluppando efficienti strutture di popolazione vegetale. Analoghe interazioni genetiche fra gli animali domestici e i loro parenti selvatici furono probabilmente un elemento importante ai primi tempi dell'allevamento degli animali. Questo processo ora è relativamente inconsueto, poiché le razze selvatiche affini sono diventate rare o si sono estinte, ma nell'Asia sudorientale i polli si accoppiano ancora con il gallo dorato della giungla, e nella Nuova Guinea le scrofe vengono montate frequentemente dai cinghiali.

Il processo di domesticazione delle piante ebbe inizio presumibilmente con il loro uso intensivo da parte dell'uomo e dalla dipendenza almeno parziale dell'uomo dalle piante in questione. Il rapporto si fece inevitabilmente sempre più intimo. Per esempio, l'uso da parte dell'uomo di raccogliere i semi delle piante selvatiche avrebbe avuto un effetto relativamente ridotto sulla struttura genetica delle popolazioni vegetali selvatiche, se l'uomo stesso non avesse incominciato a seminare quello che raccoglieva. Una volta che il seme viene piantato deliberatamente, la composizione della successiva generazione della pianta dipende da quel che l'uomo raccoglie, per cui alcune mutazioni genetiche diventano praticamente automatiche. La risposta genetica più comune nelle piante preziose per il loro seme commestibile è uno spostamento verso la non disintegrazione, vale a dire, la tendenza ad allontanarsi dalla dispersione naturale dei semi. Le spighe dei cereali diventano dure e non si aprono quando sono mature. Il baccello e il pericarpo non si aprono più con violenza per disperdere i loro semi alla maturazione. Una volta perduto il meccanismo naturale di dispersione dei semi, le piante si trovano a dipendere dall'uomo per la sopravvivenza.

Anche altri cambiamenti avvengono in modo più o meno automatico. I semi delle piante selvatiche sono spesso dormienti quando giungono a maturazione e, anche se le condizioni sono favorevoli alla germinazione, essi non germinano fino alla stagione giusta. Questo è un adattamento raffinato per quel che riguarda le specie selvatiche, ma può darsi che non sia affatto conveniente per l'agricoltura. In tal caso, la selezione tende a ottenere la non dormienza, o per lo meno una dormienza che scompaia all'epoca della successiva piantagione, è automatica. Alla stessa stregua, la selezione automatica per la produzione di semi più grandi avverrà nei semenzai se c'è competizione fra le pianticelle. I semi più grandi hanno maggiori riserve nutritive, ed è probabile che producano pianticelle più vigorose; le piante che spuntano per prime e quelle le cui pianticelle hanno maggior vigore daranno probabilmente la maggior parte dei semi alla generazione successiva. Ancora altre pressioni di selezione automatica adattano le piante alle condizioni dei campi. Prende così l'avvio una selezione disgregativa: la selezione naturale agisce nel senso di far mantenere alle popolazioni selvatiche i loro adattamenti, ma le ripetute seminagioni e mietiture modificano le popolazioni coltivate nel senso di un adattamento ai campi e ai giardini. La divergenza genetica viene mantenuta facilmente anche quando vi è una considerevole ibridazione fra le popolazioni selvatiche e quelle coltivate.

Oltre alle pressioni di selezione automatica, l'uomo interviene con processi di selezione deliberati e intenzionali. Questi processi possono agire in diverse direzioni e possono a dir poco essere capricciosi. L'uomo seleziona il granoturco per bollirlo, per farne *popcorn*, per arrostirlo in pannocchia, per farne farina gialla,

La pressione della selezione ha prodotto sei distinti ortaggi da un'unica specie, la *Brassica oleracea*, una pianta dotata di una notevole capacità di sviluppare, a richiesta, organi di immagazzinamento dell'amido. La selezione per gemme terminali più grandi ha prodotto la verza (*a*); per le infiorescenze, il cavolfiore (*b*); per il fusto, il cavolo rapa (*c*); per le gemme laterali, il cavolo di Bruxelles (*d*); per lo stelo e per i fiori, i broccoli (*e*); per le foglie, il cavolo riccio (*f*). Il cavolo riccio è tra questi ortaggi quello che assomiglia più da vicino alla pianta selvatica.

grossa o fine, per fare la birra, per fare bevande non fermentate e perfino per scopi cerimoniali e religiosi. Seleziona il riso glutinoso e non glutinoso, il riso a grano lungo e a grano corto, il riso striato di rosso, il riso bianco e il riso aromatico. Seleziona l'orzo per usarlo come alimento, per fare la birra, per utilizzarlo come foraggio per gli animali, per macinarlo e per facilità di raccolto. All'uomo piacciono i colori vivaci e le varianti curiose e inconsuete, e così egli conserva certe forme di piante che non avrebbero nessuna possibilità di sopravvivere in condizioni naturali.

La parte delle piante che riveste il massimo interesse per l'uomo è quella che viene maggiormente modificata. Se si tratta di un tubero, per esempio, la più grande variazione e la più grande deviazione dal tipo selvatico si avrà nel tubero. Se si tratta di un cereale, le parti più modificate saranno la spiga e i chicchi che essa contiene. L'esempio più straordinario è il cavolo riccio del genere *Brassica oleracea,* che, come risultato dell'influenza dell'uomo, è stato modificato in una mezza dozzina di modi. La specie ha una notevole capacità di sviluppare, a richiesta, organi per l'immagazzinamento dell'amido. Nel cavolo comune l'organo di immagazzinamento è la gemma terminale, nel cavolfiore l'infiorescenza, nel cavolo rapa il fusto, nei cavolini di Bruxelles le gemme laterali, nei broccoli i gambi e i fiori, nel cavolo riccio le foglie. Tutti si sono evoluti per selezione dalla *Brassica oleracea.* Per quanto diverse siano all'apparenza, queste piante appartengono tutte alla stessa specie.

Un altro esempio è dato dalle barbabietole: la bietola rossa, la bietola da foraggio, la barbabietola da zucchero e la bietola da orto, verde e fronzuta, sono tutte forme derivate dalla *Beta vulgaris.* Alcuni popoli selezionano le varie specie avendo come obiettivo le foglie, altri le radici e altri ancora lo zucchero. Di esempi se ne potrebbero fare a bizzeffe. La varietà di lattughe in vendita sulle bancarelle dei mercati italiani è sorprendente per chi vede soltanto le lattughe offerte nei supermercati americani. Nei fagioli, le strategie di selezione hanno assunto due forme principali: i fagioli secchi e i fagioli freschi. Nei piselli le strategie comprendono non solo le forme secche e fresche, ma anche quelle con il baccello. Il risultato finale di questa selezione intensa e divergente è la produzione di mostri morfologici che dipendono dall'uomo per la sopravvivenza.

La domesticazione degli animali non è diversa in linea di principio. Il processo incomincia con uno stretto rapporto fra l'uomo e l'animale e con una dipendenza parziale dell'uomo dall'animale. Questo può comportare un tipo di caccia selettivo o la cura di una mandria. Prima o poi gli animali vengono domati. Di solito la cosa non è difficile. Gli animali giovani che vengono allevati in famiglia o nei paraggi diventano spesso docili per sempre. Gli animali di alcune specie sono recalcitranti e difficili da domare, ma molte specie che non sono mai state domesticate dimostrano di essere docilissime. Nel corso della domesticazione c'è stata indubbiamente una certa selezione tendente a produrre i geni che conferiscono la docilità. Nei bovini e nei suini la selezione ha portato a esemplari più piccoli che erano più facili da trattare e di parecchi altri animali domestici sono state sviluppate anche razze nane.

L'esperienza recente può servire come modello di ciò che probabilmente accade nel lontano passato. Il bue muschiato, per esempio, è stato domesticato per permettere l'utilizzazione della sua lana finissima. Il progetto fu ideato per dare un reddito agli esquimesi e ad altre popolazioni nordiche le cui culture di caccia tradizionali erano state infrante. Nonostante la sua fama di animale bellicoso, il bue muschiato si è rivelato docile e mansueto nelle condizioni di un allevamento artificiale. Ecco un altro esempio: circa un secolo fa, un'antilope africana fu introdotta in Russia in via sperimentale. L'animale si adattò molto bene alla cattività e la selezione che mirava alla produzione di latte portò a un aumento di oltre il 400 per cento rispetto alla produzione di latte degli animali allo stato selvaggio.

L'allevamento selettivo di animali domati o in cattività porta alla fine a razze e a generazioni domesticate che non possono sopravvivere in natura anche se la specie originale potrebbe riuscire a cavarsela senza l'aiuto dell'uomo. Tipi estremi, come il cane pechinese, il pesce rosso dagli occhi telescopici, i polli dal piumaggio esageratamente sviluppato, i colombi gozzuti, il topo ballerino e, per quel che qui ci riguarda, la maggior parte dei topi, ratti e conigli da laboratorio hanno subito mutazioni genetiche tali, da dipendere ormai dall'uomo per la sopravvivenza.

Se la dipendenza totale è una conseguenza della domesticazione, che dire della condizione umana? All'uomo piace credere di avere su di sé la responsabilità delle piante e degli animali che egli incominciò a introdurre per la prima volta nella sua famiglia parecchie migliaia di anni fa, ma il fatto è che egli è stato domesticato da loro. Molti di loro non sopravviverebbero senza l'uomo, ma certo essi sono essenziali alla sopravvivenza dell'uomo. Più precisamente, l'uomo, le piante e gli animali da lui domesticati sono legati fra di loro da alcuni millenni in una coevoluzione di adattamento. La evoluzione umana è in gran parte di natura sociale e culturale, mentre l'evoluzione delle piante e degli animali domestici ha comportato notevoli mutazioni genetiche e lo sviluppo di morfologie straordinariamente nuove. Sebbene l'uomo debba accudire alle piante e agli animali che ha domesticato, la popolazione umana del mondo mangia o muore di fame a seconda dell'andamento produttivo di quelle poche piante e di quei pochi animali che rappresentano la base alimentare dell'uomo.

I sistemi agricoli

Sono il risultato di una combinazione di fattori ecologici, economici e culturali. Stabilire quali siano i sistemi agricoli migliori per i paesi in via di sviluppo costituisce uno dei problemi attuali più pressanti

di Robert S. Loomis

Negli Stati Uniti, si parla della regione del granoturco e di quella del frumento e questa distinzione riflette il ruolo di raccolto principale che quelle piante hanno in alcune zone. In modo simile, i sistemi agricoli di altre parti del mondo possono essere caratterizzati dalle colture ivi dominanti. In ognuna di queste zone, tuttavia, vengono praticate anche altre colture, a volte in associazioni alquanto intricate con quella principale. Il modello agricolo emerso in ogni zona è in parte il risultato di fattori ecologici - una particolare combinazione di clima e di terreno - e in parte è dovuto a fattori economici e culturali presenti nella società nella quale le colture sono effettuate.

Nell'ambito di ogni regione di vaste dimensioni si riscontrano considerevoli differenze nel modo in cui viene praticata l'agricoltura. Le aziende agricole variano in rapporto alla superficie ricoperta, alla conduzione di tipo più o meno intensivo e ai tipi di colture secondarie e all'allevamento di bestiame praticati insieme alla coltura principale. Malgrado la diversità dei sistemi di gestione delle aziende, esistono solo quattro metodi fondamentali di produzione agricola che possono essere caratterizzati dal tipo di coltivazione scelto. Il primo metodo riguarda gli alberi perenni o la viticoltura ed è quello di aziende agricole quali frutteti, vigneti e piantagioni di gomma. Il secondo riguarda soprattutto coltivazioni come quelle del granoturco e del frumento, che sono ripiantati in terreno arato di fresco dopo il raccolto. Il terzo consiste nella messa a pascolo di terreno erboso permanente e il quarto implica l'alternarsi di coltivazioni con erba o altri raccolti per foraggio.

Un'attenta analisi di tre sistemi di coltivazione rivela alcuni dei fattori ecologici che influenzano i modelli agricoli. La regione nordamericana del granoturco è una zona prevalentemente destinata a piante coltivate: il granoturco è il prodotto principale. La zona ha vaste distese nelle quali il terreno è pianeggiante, fertile e ben drenato. Questi terreni sono per lo più coltivati a granoturco, con la soia quale importante raccolto secondario. In zone collinose con terreni poco fertili, soggette a erosione, esiste la tendenza alla rotazione delle colture principali con la semina di foraggi, come l'erba medica. I terreni meno fertili sono lasciati in permanenza a pascolo di erba fienarola «indigena» o seminati con erbe di qualità superiore e leguminose per essere destinati a pascolo intensivo.

Il clima ha un effetto determinante sulla decisione di destinare un terreno alla coltura del granoturco. È necessaria una stagione tiepida, con almeno 120 giorni nei quali la temperatura superi i 10 gradi centigradi, assieme ad abbondante umidità, ben distribuita nel corso della stagione. La parte centrale dello Iowa e l'Illinois presentano queste caratteristiche. Nella parte centrale del Minnesota, il raccolto è limitato dalle basse temperature, mentre, nel Nebraska orientale, il fattore limitante è dato dalle scarse precipitazioni. L'importanza del granoturco nelle regioni orientali e meridionali degli Stati Uniti è in parte ridotta dalla scarsa fertilità del suolo. Il granoturco è una delle principali colture in molte altre parti del mondo: Messico, paesi dell'America Centrale, Argentina, Indonesia, Tailandia e alcune zone dell'Europa, come gli stati balcanici.

Nelle pianure occidentali degli Stati Uniti, l'apporto di umidità è insufficiente per il granoturco, che è pertanto coltivato solo quando è possibile l'irrigazione. Il frumento, che predomina nelle zone agrarie semiaride di tutto il mondo, è la coltura ideale per questa zona, perché richiede poca acqua e ha una maggiore tolleranza alla siccità. Nelle regioni semiaride dell'Africa, come in alcune parti dell'India e degli Stati Uniti sudoccidentali, dove le scarse precipitazioni si verificano prevalentemente nella stagione calda, sorgo e miglio sono comunemente coltivati per la loro tolleranza alla siccità.

Il frumento, a differenza del granoturco e del sorgo, cresce bene nei periodi freddi della primavera e dell'autunno, quando vi è scarsa evaporazione e, quindi, il fabbisogno di umidità delle piante è limitato. Nelle pianure meridionali (Oklahoma e Kansas) è praticato abitualmente il sistema di piantare frumento «invernale» in autunno. Le colture fioriscono e graniscono in primavera, dopo essere state vernalizzate, ossia indotte a germinare dalle basse temperature invernali. Più a nord, dove il frumento sopravvive agli inverni più rigidi, è seminato, agli inizi della primavera, il frumento primaverile, che non necessita di vernalizzazione.

Le varietà di frumento che maturano presto possono essere estese anche ad ambienti dove le precipitazioni sono scarse. Nelle zone più aride, il frumento viene coltivato solo ad anni alterni. Tra un raccolto e l'altro, il terreno è lasciato incolto e privo di vegetazione per un anno, così che l'umidità del terreno possa essere ripristinata a un livello sufficiente a sostenere la produzione di frumento dell'anno successivo. Come nei sistemi di coltivazione destinati a granoturco, le zone marginali sono adibite a pascolo. La produttività di erba è bassa, cosicché i pascoli di un *ranch* degli Stati Uniti occidentali non sono in grado di sostenere mandrie molto numerose.

I sistemi di pascolo intensivo praticati nei Paesi Bassi e in Danimarca sono profondamente diversi dai sistemi di coltivazione che producono granoturco e frumento. I terreni bassi e pesanti di quelle regioni sono di solito troppo freddi e umidi per questo tipo di colture. Essi sono perciò seminati a loglio perenne, una specie a radici poco profonde, che cresce bene nei climi freddi e dà una

Il frumento è raccolto da un gruppo di mietitrebbia nelle terre alte orientali dello stato di Washington. La scena del raccolto è caratteristica delle operazioni su larga scala che prevalgono anche nelle regioni a frumento delle North American Great Plains, dell'URSS e di molte altre zone.

buona produzione dalla metà della primavera alla metà dell'autunno.

La pratica agricola di quelle zone richiede il ricorso a un massiccio impiego di fertilizzanti e a una rotazione dei pascoli attentamente controllata. Il bestiame è convogliato in pascoli diversi uno dopo l'altro, così che ogni pastura ha un periodo di tempo per recuperare, dopo essere stata intensamente sfruttata. Una parte dell'erba è comunemente mietuta per fieno e foraggio da insilamento per l'inverno. In altre parti del mondo, è spesso aggiunto ai terreni a pascolo una leguminosa come fonte di azoto. Le specie di erbe e di leguminose sono scelte in base al loro adattamento al clima locale e alle condizioni del terreno.

Analizzando questi tre sistemi, ci si rende conto che sono molti i fattori che agiscono insieme nel porre limiti ecologici a ciò che può essere coltivato in una particolare zona. Essi sono il livello e la distribuzione stagionale della luce solare, la temperatura e la pioggia, le condizioni del suolo, la topografia del terreno e i tipi di insetti nocivi e di malattie ai quali le colture saranno esposte. Questi fattori determinano l'opportunità di introdurre una coltura in una data zona. In realtà, la scelta delle colture, così come il sistema e l'intensità con cui la coltivazione viene effettuata, dipendono largamente dalle circostanze economiche e culturali della società che pratica la coltivazione. Si è constatato che la densità della popolazione, la distanza dai mercati, il livello tecnologico e il retaggio culturale della società sembra abbiano la stessa importanza dei fattori naturali.

I fattori sociali non possono venire completamente trascurati in un'analisi dei sistemi agricoli, per il semplice motivo che l'agricoltura e il resto del sistema sociale si sono evoluti contemporaneamente. Forti reazioni d'influenza reciproca provocano un continuo adeguarsi di un settore all'altro. Gli attuali sistemi agricoli sono residui di un'enorme quantità di sperimentazione umana. Nel corso dei millenni, l'uomo si è nutrito con i prodotti di molte migliaia di piante di cui parecchie centinaia sono state domesticate. L'agricoltura si è dedicata principalmente allo sviluppo di piante che diano un'alta resa di prodotto immagazzinabile per unità di sforzo umano, che siano «sicure», perché il loro comportamento biologico è ragionevolmente costante, e che soddisfino le necessità sostanziali della nutrizione.

La nostra preoccupazione odierna è quella di vedere se questi sistemi saranno adeguati in futuro. È necessario sapere se essi hanno sufficiente flessibilità, sicurezza e resa potenziale per popolazioni in rapida espansione. Le risposte a queste domande possono essere cercate, analizzando l'agricoltura come un sistema di catene alimentari che porta all'uomo, domandandoci perché alcune colture siano giunte a dominare particolari sistemi agricoli e perché gli alimenti di origine vegetale e i fattori sociali siano gli elementi più importanti per il futuro dell'umanità.

L'uomo, come onnivoro flessibile, può situarsi in qualsiasi punto di una catena di animali che si cibano di vegetali. La catena effettiva è di solito molto breve, poiché o comprende il consumo diretto di vegetali, o il consumo di prodotti animali provenienti da altri consumatori primari. Il bestiame è d'importanza essenziale in molti sistemi agricoli: infatti, la complessità principale dell'agricoltura è dovuta al tipo di bestiame allevato e alla conseguente importanza data ai raccolti di prodotti commestibili e di foraggio. L'avviamento di una produzione sistematica è assistito dal controllo della quantità delle piante competitive (erbacce), degli animali nocivi (come gli insetti) e dal rilievo dato alla massima efficienza di trasferimento delle risorse naturali e della produttività fotosintetica verso la produzione alimentare.

La catena alimentare più semplice consiste nel coltivare piante e mangiarle (o mangiarne una parte). In questo tipo di catena, il livello di efficienza del trasferimento dell'energia e delle proteine può essere molto alto, con la conseguente possibilità di sostentamento di una popolazione molto densa. Comunemente si sostiene che, dal 30 al 40 per cento, la produzione netta delle piante può essere raccolta come alimenti e che, dal 70 all'80 per cento, il raccolto può essere assimilato dall'uomo. Questi valori, tuttavia, sono molto spesso inferiori cosicché la situazione può essere considerevolmente migliorata. La produttività fotosintetica di una pianta dovrebbe, per esempio, essere sfruttata al massimo, assicurandosi, nel contempo, che la maggior parte di questa produttività passi al prodotto commestibile piuttosto che disperdersi nei processi di mantenimento della pianta o sotto forma di residui.

Un problema analogo di ripartizione sorge per la composizione chimica degli alimenti. Il contenuto proteico di parecchi alimenti vegetali varia da circa il 6 a più del 20 per cento della sostanza secca. I sistemi basati su una resa relativamente bassa di proteine presentano un notevole vantaggio, poiché con essi si ottiene un rendimento totale maggiore di cibo per unità di area (cioè per unità di radiazione solare, di acqua o di azoto contenuto nel terreno) o per unità di sforzo. La produzione di proteine da parte di una pianta avviene attraverso processi biochimici che richiedono molta energia, quali l'assorbimento o la riduzione di nitrato d'azoto. L'energia proviene dai carboidrati, che altrimenti si accumulerebbero sotto forma di alimenti. Ne risulta che la resa organica totale di un raccolto è spesso inversamente proporzionale al suo contenuto proteico. I prodotti vegetali a basso contenuto proteico possono costituire alimenti soddisfacenti. Dal punto di vista della nutrizione di un adulto, una dieta a base di cereali con un contenuto proteico di solo il 10-12 per cento in peso è adeguata per quanto riguarda le proteine e gli amminoacidi essenziali. In realtà, le diete umane attuali sono più limitate per quanto riguarda il contenuto energetico (calorie), che non il contenuto proteico.

L'evoluzione dell'agricoltura basata sui cereali si adegua a questo concetto. I cereali a grani piccoli (frumento, orzo, segale, avena e riso) e quelli a grani grossi (mais, sorgo e qualche specie di miglio) forniscono direttamente, nel loro complesso, più del 50 per cento del fabbisogno mondiale di proteine e di energia. Considerando le grandi quantità di granaglie che sono trasformate dal bestiame in carne, latte e uova e dai microrganismi in bevande alcoliche e altri prodotti, si trova che il 75 per cento del fabbisogno energetico e proteico umano è fornito dai cereali coltivati.

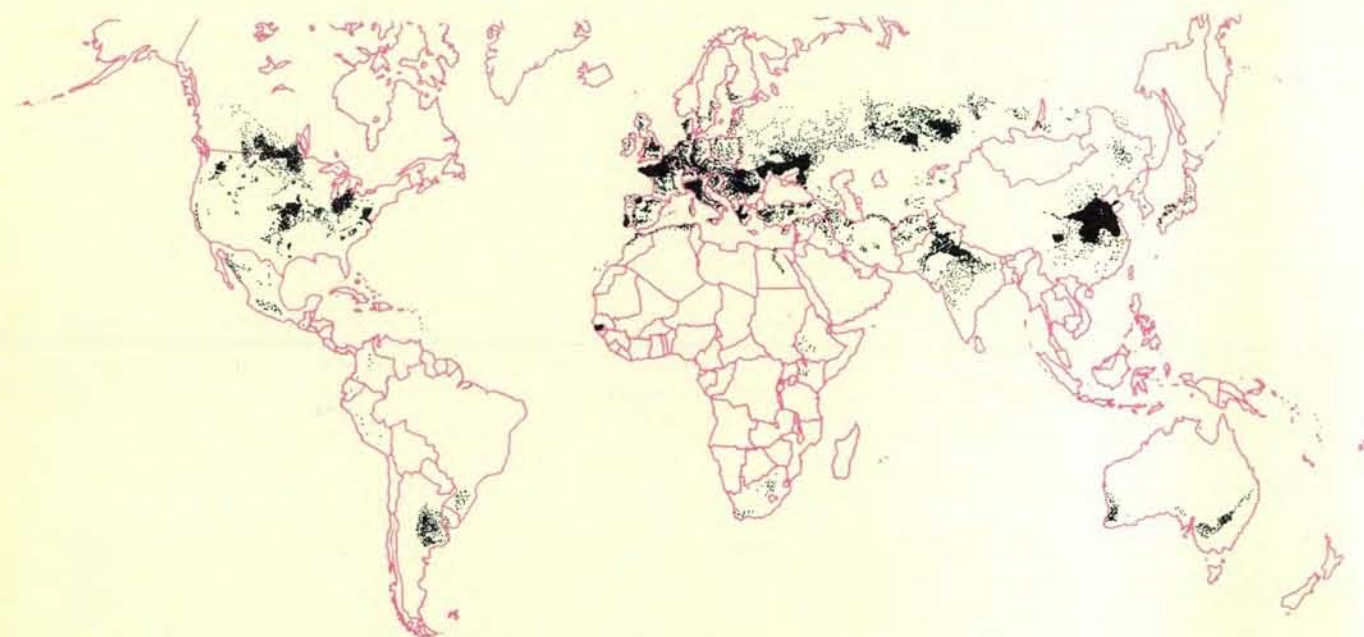
L'enorme importanza data ai cereali non è dovuta solo al loro valore alimentare, ma anche alla relativa facilità di coltivazione, raccolto, trasporto e immagazzinaggio. Inoltre, la risposta dei cereali al clima è sufficientemente flessibile; maturano nell'arco di una stagione relativamente breve, così che la loro vulnerabilità alle condizioni meteorologiche avverse risulta abbastanza limitata.

Nei climi tropicali, dove l'immagazzinaggio è difficile e la stagione di crescita è prolungata, i sistemi agricoli tendono a preferire piante a produzione continua e sequenze annuali di piante commestibili. Piante che producono radici e tuberi commestibili, come patate, manioca, iguame e taro, si adattano a questi sistemi. Esse forniscono circa l'8 per cento dell'energia e il 5 per cento delle proteine che l'uomo ricava dal cibo. Piselli, fagioli, frutta secca (come mandorle e noci) e semi oleosi forniscono il 5 per cento dell'energia e il 12 per cento delle proteine, mentre le piante zuccherine forniscono circa il 9 per cento dell'energia. Secondo dati compilati dalla FAO, altre frutta e altri ortaggi forniscono solo il 2 per cento del fabbisogno calorico e meno dell'1 per cento del fabbisogno proteico. Tali cifre sottovalutano probabilmente l'importanza di questi alimenti nelle regioni tropicali e le cifre stesse probabilmente sarebbero maggiori se i prodotti degli orti domestici fossero inclusi nelle statistiche. Il ruolo minore di queste colture è dovuto in parte al problema del trasporto e dell'immagazzinaggio dei prodotti freschi.

Su base mondiale, la specie umana dipende da 11 specie di piante per circa l'80 per cento della propria alimentazione. Questa base non è così limitata come potrebbe sembrare. La maggior parte delle specie vegetali rappresenta enormi complessi genetici; alcune, come il frumento e il granoturco, hanno un numero di varietà superiore a quello di tutte le altre specie, eccettuate alcune specie selvatiche. Selezionare e incrementare questa diversità sono due obiettivi importanti per agronomi e botanici tra i quali è diffusa l'opinione che sia conveniente aumentare gli sforzi in questa direzione.

Inoltre, la maggior parte delle specie, sulle quali l'uomo fa affidamento, possono vivere bene negli ambienti più vari, cosicché è possibile praticare sostituzioni sia nelle coltivazioni sia nell'impiego. Per esempio, malgrado il frumento stia gradualmente sostituendo la segale, l'orzo e l'avena nel loro ruolo tradizionale di piante commestibili della zona temperata, essi restano (insieme al granoturco e alle patate) le colture alternative di tale regione. Anche il triticale, una nuova specie derivata da ibridi di frumento e di segale, ha le caratteristiche appropriate. Nel caso che una coltura come il frumento si riveli inadatta, la soluzione dipende maggiormente dalle capacità di avvertire il problema da parte dell'uomo, dalla sua volontà di cambiare e dalla tempestività del cambiamento, che non dal fatto che esistano o meno alternative.

Il prevalere di una data coltura in una certa zona è determinato dal risultato dell'integrazione di vari fattori economici ed ecologici. La coltura prevalente è bene adattata all'ambiente e fornisce una alta resa. Essa si conforma favorevolmente al programma dell'azienda agricola e presenta bassi rischi di fallimento. C'è un mercato disponibile che consente al raccolto di fornire la base di un buon reddito per l'agricoltore. In breve, il sistema è armonicamente in accordo con le condizioni locali.

Quando un sistema di coltivazione riesce bene, vi sono forti incentivi per estenderlo agli ambienti marginali. Nelle aree periferiche, dove la vulnerabilità del raccolto alle condizioni climatiche è maggiore e la resa è minore, esso può essere sostituito, come coltivazione principale, da un altro sistema, basato su un raccolto più sicuro. Attività di questo genere sono in corso per la sostituzione del gra-

Le principali regioni produttrici di frumento sono indicate con punti neri. Ciascun punto rappresenta 27 000 tonnellate. Il totale mondiale è di circa 350 milioni di tonnellate all'anno. Questa cartina e le due successive sono basate su dati dell'US Department of Agriculture.

La produzione di riso è accentrata principalmente in Asia, ma il riso è coltivato anche in altre zone dal clima caldo e sufficientemente umido. Ogni punto nero della cartina rappresenta 45 000 tonnellate. La produzione totale mondiale è di 300 milioni di tonnellate all'anno.

noturco con il frumento in zone con scarse precipitazioni. Come conseguenza della tendenza allo spostamento verso le zone marginali, la ricerca agricola negli Stati Uniti è stata vastamente indirizzata allo sviluppo di piante capaci di sopportare le condizioni relativamente sfavorevoli di quelle zone.

D'altra parte, il predominio del granoturco e della soia, per esempio, nello Iowa, non dimostra che altre colture non si possano praticare in quella zona. Frumento, patate, barbabietole da zucchero e numerose altre specie potrebbero essere sostituite al granoturco e alla soia, ma, nell'attuale situazione, sarebbero meno convenienti dal punto di vista economico. L'attuale necessità di questi prodotti è soddisfatta dalla produzione di altre zone, anche se la produttività è talvolta inferiore a quella che sarebbe nello Iowa.

La valutazione del rischio e del profitto ha quindi grande influenza sul comportamento dei sistemi agricoli. I problemi sono semplificati quando l'agricoltore accentra la propria attività in un sistema a basso rischio comprovato. Spesso, tale compito richiede di rendere minima la diversità delle colture. Con solo poche varietà di colture l'agricoltore può acquisire attraverso l'esperienza e l'istruzione la competenza per affrontare le avversità di carattere ordinario costituite dalle condizioni meteorologiche, dai parassiti e dal mercato. Un agricoltore che intenda compensare i rischi dipendenti dalle condizioni meteorologiche coltivando molte specie di piante incontrerà sempre condizioni meteorologiche avverse: una qualche parte del sistema si rivelerà sempre vulnerabile, non importa quali siano le condizioni meteorologiche, e si ridurrà l'abilità dell'agricoltore di far fronte anche alle avversità più comuni.

Aziende agricole semplificate, tuttavia, sono possibili solo con la meccanizzazione, o dove il costo della manodopera è basso. Le aziende agricole in regime di impiego intensivo di manodopera dell'India e di altri paesi in via di sviluppo possono essere molto diversificate. La necessità di manodopera è quindi distribuita più uniformemente, riducendo in tal modo la richiesta di manodopera supplementare nei momenti di lavoro più intenso. Inoltre in una agricoltura di sussistenza è desiderabile che gli alimenti prodotti siano più diversificati. D'altro canto, il rischio derivante dalle condizioni meteorologiche e da altri fattori è forte, anche se viene suddiviso fra colture diverse. In generale, una diversificazione spaziale (coltivare le stesse piante in condizioni diverse), come viene effettuato nelle fattorie industrializzate degli Stati Uniti e dell'Australia, è una strategia più sicura della diversificazione aziendale (coltivare molte piante diverse nello stesso ambiente).

I fattori di rischio possono essere modificati in modo significativo, ricorrendo alla tecnologia. Un metodo fondamentale è quello di migliorare il livello della tolleranza ambientale (come per esempio, aumentando la resistenza di una determinata specie alle malattie) mediante la selezione e l'incrocio delle piante. I sistemi di irrigazione, i trattori, gli essicatoi artificiali e i pesticidi possono ottenere risultati analoghi.

Nel contempo, le tecnologie che possono ridurre il rischio possono essere impiegate anche per incrementare il reddito in altri modi, mantenendo il rischio al livello originario. Ad esempio, un trattore di dimensioni superiori al normale garantisce contro una primavera piovosa, abbreviando il tempo necessario per preparare la terra alla semina, ma può essere usato anche per coltivare una zona più estesa, senza aumento di manodopera. Analogamente, un essicatoio per cereali, installato allo scopo di affrontare il rischio occasionale del freddo e dell'umidità al momento in cui le varietà comuni di cereali maturano, può essere usato ogni anno per varietà con periodo di crescita più lungo e con una produttività maggiore.

I fattori che determinano la produttività agricola sono complessi. Tuttavia, in contrasto a un'opinione molto diffusa, la capacità fotosintetica delle piante è di rado un fattore limitante dato che il nutrimento, l'umidità e la temperatura di solito limitano la crescita delle piante solo di una frazione del loro potenziale fotosintetico. La nutrizione delle piante, in particolare, presenta seri problemi per il futuro dell'agricoltura, probabilmente più seri, a lungo termine, delle variazioni climatiche e di altre eventualità che possono influenzare l'agricoltura su larga scala. Nell'arco di un dato periodo di tempo, il tasso di produzione di sistemi agricoli stabili e bene gestiti si equilibrerà con il tasso di apporto di sostanze nutritive.

L'apporto di sostanze nutritive inorganiche proviene da fonti diverse. Le sostanze provenienti dall'oceano, dove gli spruzzi salmastri si mescolano all'atmosfera, sono portate sul terreno dalla pioggia. Le sostanze nutritive sono anche ridistribuite sul terreno dallo spostamento del pulviscolo atmosferico, dall'irrigazione e dalle inondazioni. Il riso coltivato nelle risaie dell'Asia, per esempio, dipende essenzialmente dalle sostanze nutritive filtrate dai terreni situati a livello più alto e trasportate dalle acque.

La coltivazione del granoturco è predominante negli Stati Uniti, che forniscono quasi la metà della produzione mondiale, ma è praticata anche in altre zone ricche d'acqua e con una lunga stagione calda. Ogni punto rappresenta 25 000 tonnellate. Il totale mondiale è di 300 milioni.

La maggior fonte di sostanze nutritive inorganiche, comunque, è il contenuto di sostanze minerali del terreno. L'apporto varia con il tipo del terreno e ciò è la causa principale delle grandi differenze di fertilità tra i terreni delle zone temperate e quelli delle zone tropicali. Le differenze dipendono dalle condizioni di temperatura e di umidità, per azione delle quali i minerali della roccia madre sono alterati e si formano minerali secondari. Inoltre, i terreni recenti di origine glaciale in regioni temperate hanno un maggior contenuto di sostanze nutritive dei terreni molto lisciviati e vecchi delle regioni tropicali. I terreni più fertili delle regioni tropicali sono quelli relativamente recenti, derivati da depositi alluvionali o da ceneri vulcaniche. Rispetto all'estensione della Terra, l'area interessata da terreni recenti e molto fertili è alquanto ristretta.

Attualmente, la sostanza nutritiva principale ad agire come fattore limitante in agricoltura è l'azoto. Data la loro alta capacità di fotosintesi, le piante agrarie potrebbero utilizzare azoto in quantità molto maggiore di quella che ricevono da fonti naturali. Per esempio, il granoturco e le barbabietole da zucchero, coltivati in ambiente favorevole, assimilano più di 500 chilogrammi di azoto per ettaro in biomassa. Il primato di produzione annua di biomassa da parte di una pianta (un'erba tropicale che ha reso più di 80 tonnellate di sostanza secca per ettaro) ha richiesto l'assimilazione di più di 1600 chilogrammi di azoto. Se una coltura deve raggiungere la produzione massima, è necessario somministrarle quantità di azoto di quest'ordine per ogni stagione di crescita.

Di solito, l'unico modo di fornire azoto in tali quantità è quello di ricorrere ai fertilizzanti. Un sistema più vecchio, meno soddisfacente dal punto di vista dell'apporto di azoto, è quello di piantare leguminose che possono fissare l'azoto per il proprio fabbisogno, lasciandone in sovrappiù nel suolo per le colture successive. Le leguminose, tuttavia, sono una coltura a bassa produttività e la quantità di azoto che lasciano nel terreno è di solito scarsa. Inoltre, la fissazione dell'azoto per mezzo delle leguminose viene evitata quando la quantità di azoto contenuto nel suolo è elevata, come occorre nei campi preparati per ottenere la produttività massima di colture redditizie come il granoturco. In queste condizioni i legumi diventano consumatori netti di azoto. Con l'avvento dei fertilizzanti ammoniacali derivati dal petrolio l'utilizzazione delle leguminose nella rotazione delle colture è diminuita.

L'agricoltura di tutto il mondo è attualmente in uno stato d'incertezza rispetto alla propria dipendenza futura dalle rotazioni delle leguminose. Fino a quando si potranno trovare nuove risorse di petrolio e di gas, ci si affiderà principalmente ai fertilizzanti, anche nei paesi più poveri. Il pericolo che si corre nel destinare i nuovi terreni alla coltivazione di piante commestibili e nel fare ogni sforzo per ottenere rese più alte è

AGRICOLTURA E AGRONOMIA

Fin dai suoi primi numeri, **LE SCIENZE** *edizione italiana di* **SCIENTIFIC AMERICAN** *ha dedicato numerosi articoli a questo importante settore della ricerca applicata tra cui:*

IL FRUMENTO IBRIDO
di B.C. Curtis e D.R. Johnston (n. 14)

Molti problemi legati all'ibridazione di questo importante cereale sono ora risolti. L'introduzione definitiva di frumento ibrido su larga scala avrà un influsso importante sull'economia e sulla alimentazione.

UN PIANO MONDIALE PER L'AGRICOLTURA
di A.H. Boerma (n. 27)

La FAO (Organizzazione delle Nazioni Unite per l'Agricoltura e l'Alimentazione) ha studiato un programma integrato, volto a colmare per il 1985 lo scarto fra produzione alimentare e aumento della popolazione.

LA PRODUZIONE DI ALIMENTI
di L.R. Brown (n. 28)

Il rapporto tra aumento della popolazione umana e aumento della produzione alimentare pone un problema: quante persone la biosfera può sostenere senza pregiudicare il suo funzionamento complessivo?

GRANOTURCO RICCO DI LISINA
di D.D. Harpstead (n. 39)

Come fonte di proteine per l'uomo e gli altri animali non ruminanti il granoturco è carente dell'amminoacido lisina. Questa deficienza sta per essere corretta mediante la selezione di cultivar ad alto contenuto di lisina.

PINI SELEZIONATI PER L'INDUSTRIA
di B.J. Zobel (n. 42)

Mediante opportuni incroci di varietà spontanee si sono ottenuti pini che forniscono una maggiore quantità di cellulosa e sono quindi particolarmente convenienti.

LA FERTILIZZAZIONE DELL'ATMOSFERA
di R. Favilli (n. 53)

L'arricchimento artificiale della percentuale di anidride carbonica presente nelle serre permette di ottenere piante ornamentali e ortaggi più abbondanti e di migliore qualità.

LA SOIA
di F. Dovring (n. 69)

È tra le voci più importanti delle esportazioni degli Stati Uniti alla pari col frumento e poco dopo il mais. Ha perciò una funzione di primo piano nell'equilibrare la bilancia dei pagamenti americana.

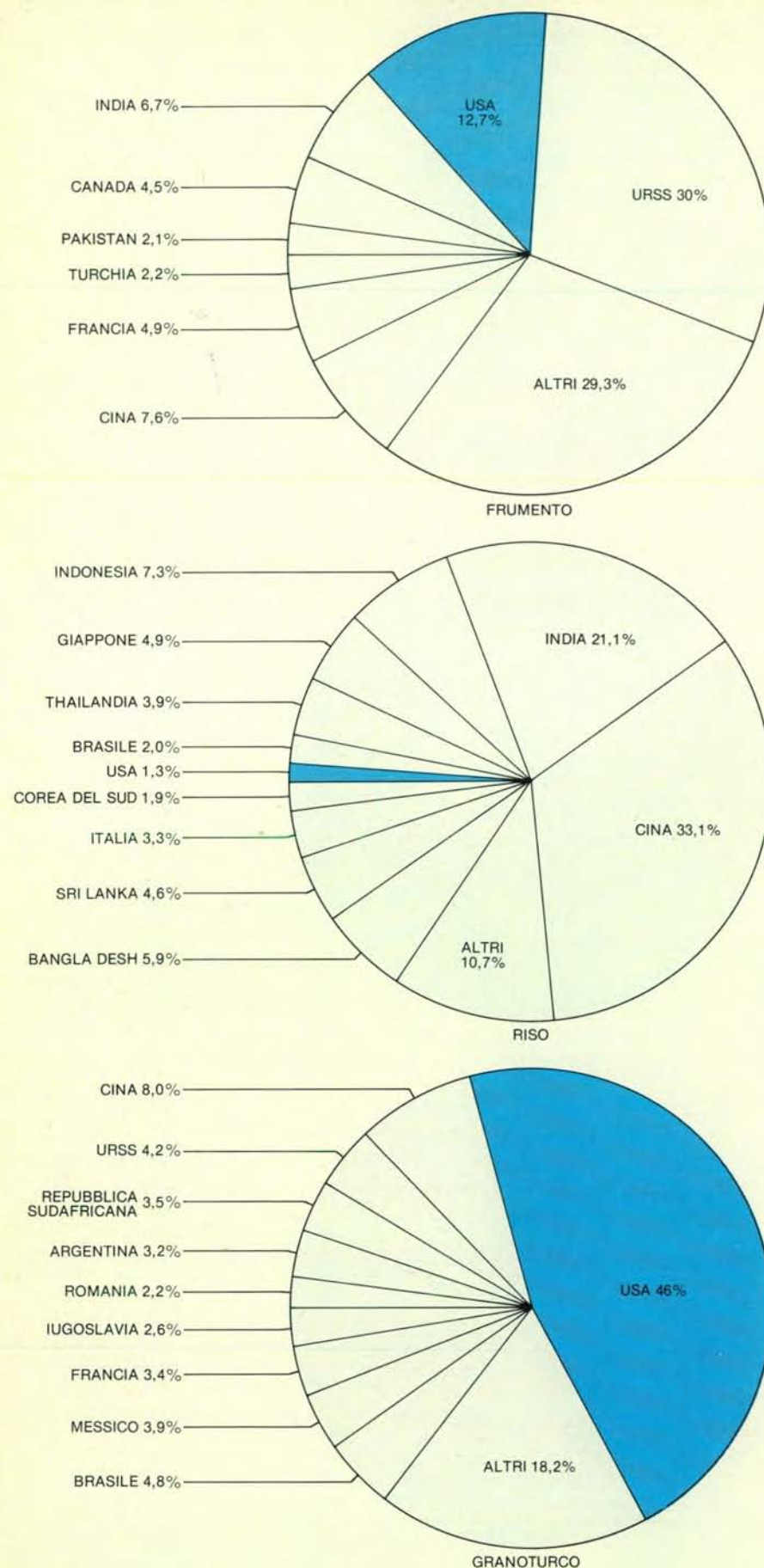
VINI, VITIGNI E CLIMA
di P. Wagner (n. 74)

I vini sono così diversi l'uno dall'altro in primo luogo per le condizioni climatiche e geografiche che caratterizzano le varie zone di coltura e in secondo luogo per la qualità del terreno.

IL TRITICALE
di J.H. Hulse e D. Spurgeon (n. 76)

Questo ibrido combina l'alta produttività di uno dei genitori (frumento) con la rusticità dell'altro (segale). Sembra ormai certo che competerà con successo con i cereali tradizionali.

UN MECCANISMO DI RESISTENZA ALLE MALATTIE NELLE PIANTE
di G.A. Strobel (n. 81)

Cosa rende una pianta suscettibile o resistente a una malattia? Lo studio di un fungo che attacca la canna da zucchero rivela il meccanismo molecolare che è alla base di gravi danni all'agricoltura.

È rappresentata la ripartizione della produzione di frumento, riso e granoturco nei paesi maggiori produttori. Le cifre rappresentano il contributo di ciascun paese al raccolto annuo di ogni coltura. I dati sono stati rilevati dall'US Department of Agriculture.

che la popolazione umana potrebbe espandersi oltre il livello sostenibile con le sole fonti di azoto.

Un'analisi della produzione risicola indonesiana, considerata come un sistema, può aiutare a focalizzare questo problema. Nel 1972, due raccolti annui di riso da 10 milioni di ettari di risaie hanno fornito 21 milioni di tonnellate di riso ossia circa 160 chilogrammi pro capite. Il raccolto ha costituito circa il 70 per cento del fabbisogno energetico e il 100 per cento del fabbisogno proteico necessario a una popolazione di 130 milioni di individui.

La produzione, tuttavia, era stata solo leggermente superiore ai 1000 chilogrammi per ettaro per ogni raccolto di riso e costituiva solo il 10 per cento della produzione media del Giappone e della California. Questa differenza era dovuta non tanto a una insufficienza di sforzo umano (dato che in Indonesia sono di qualità elevata operazioni come il controllo delle acque e quello delle erbacce) quanto alle differenze nella nutrizione delle piante.

Ipotizzando che il sistema sia in uno stato stazionario, un semplice bilancio dell'azoto mostra che circa 40 chilogrammi di azoto per ettaro sono tolti al terreno ogni anno, sotto forma di granaglie e di paglia. Anche se tutto l'azoto prodotto chimicamente consumato in Indonesia fosse utilizzato nelle risaie, esso costituirebbe solo un apporto di 11 chilogrammi per ettaro. La rotazione con le leguminose non è molto praticata in Indonesia e le piogge contribuiscono solamente con 10 chilogrammi di azoto per ettaro per anno. Circa 19 chilogrammi debbono essere forniti mediante irrigazione, concime organico e fissazione da parte di microrganismi che vivono liberi nel terreno. Poiché è stato anche necessario compensare le perdite dovute all'infiltrazione nel suolo e alla denitrificazione, la quantità di azoto effettivamente ottenuta da quelle fonti deve essere stata maggiore di 19 chilogrammi e, di conseguenza, vicina alla quantità massima che si pensava fosse ottenibile da esse.

Lo scopo di questo esempio è duplice: esso rivela la vulnerabilità del sistema a un'insufficienza nell'apporto di azoto, quando il livello oscilla da un anno all'altro, e dimostra l'enorme potenzialità di aumento della produzione. Con una maggiore quantità di azoto e un ulteriore apporto di altre sostanze nutritive inorganiche appare probabile che il rendimento delle colture agricole possa essere quintuplicato.

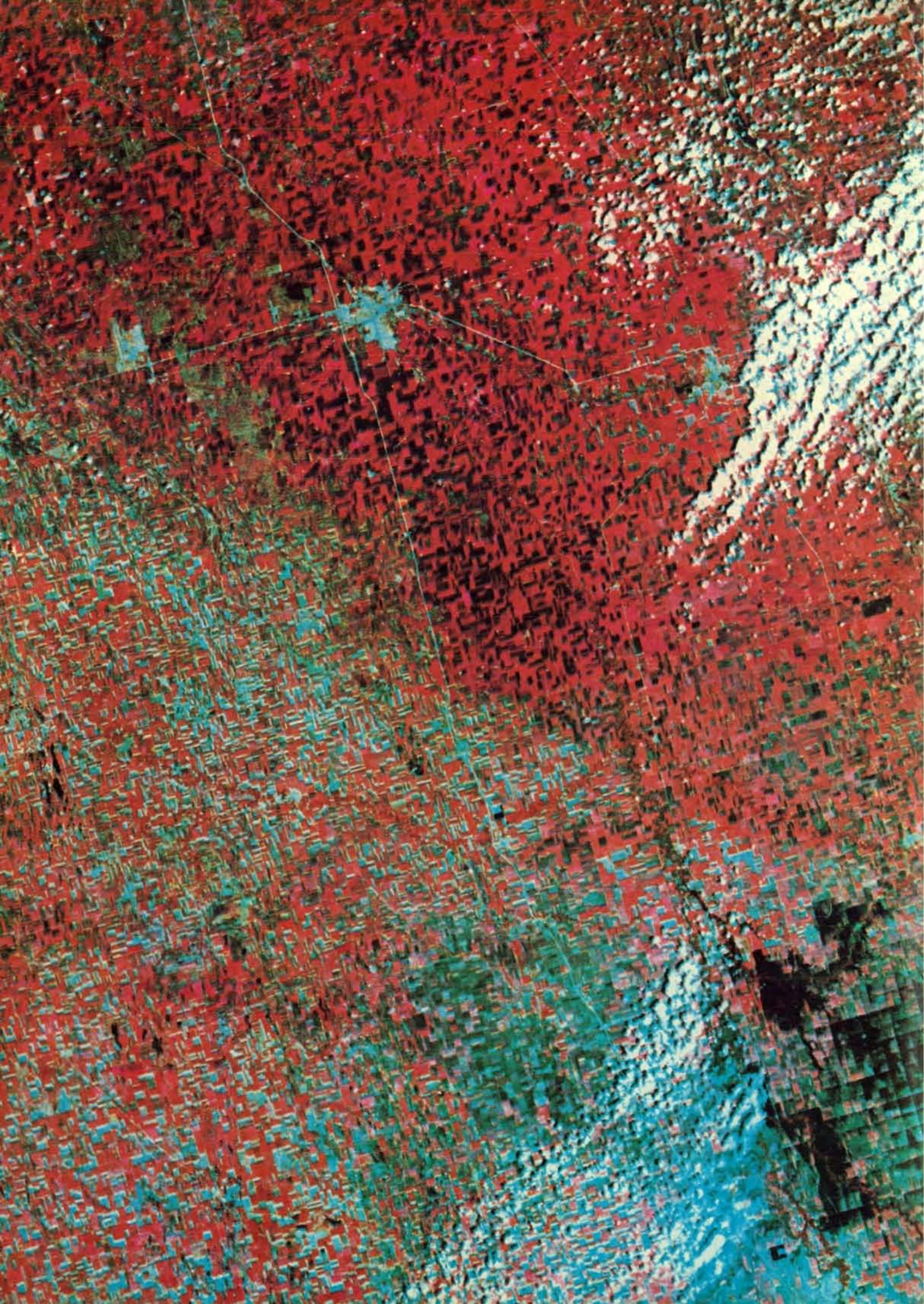
Il confronto fra la produzione risicola in Giappone e quella indonesiana è un esempio dell'ampia variabilità che esiste nella produttività agricola di regioni diverse in anni diversi. Queste variazioni dipendono sostanzialmente da due cause. Una è costituita dalle diversità del clima e di altri fattori naturali; l'altra è collegata alle differenze di gestione agricola e all'intensità della produzione.

Gli effetti dei fattori naturali possono

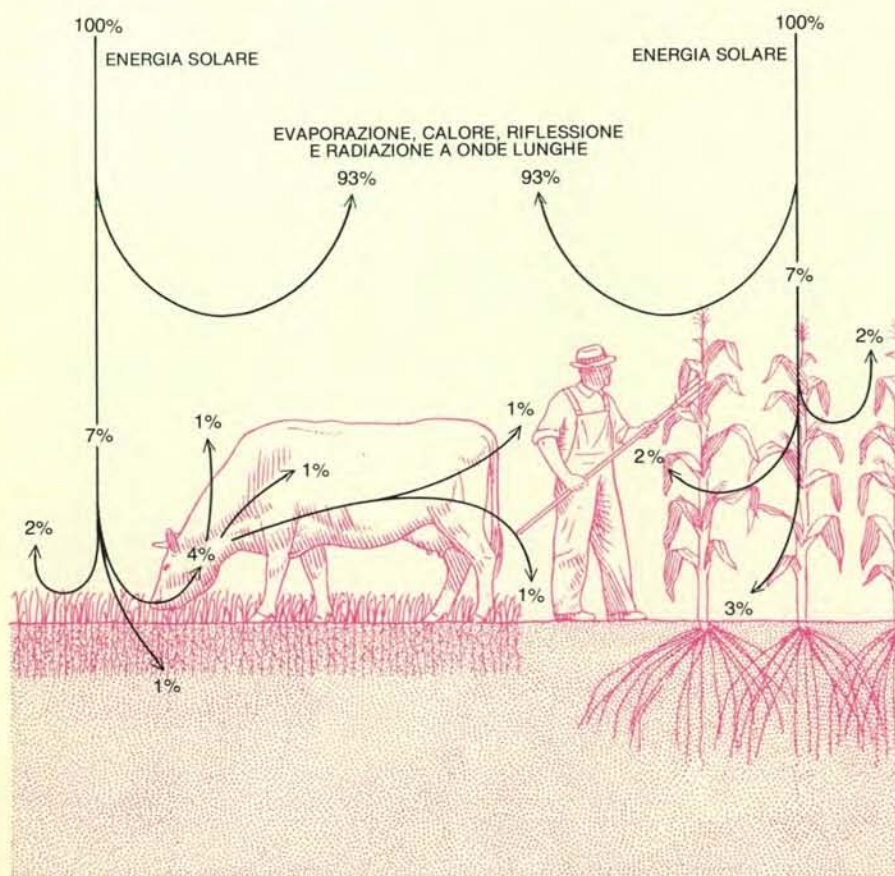
essere sostanzialmente modificati dal tipo di tecnologia impiegata nella gestione delle aziende. Se, per esempio, uno dei problemi consiste nella mancanza di umidità, si possono ottenere consistenti aumenti nella produzione per ettaro coltivato lasciando un campo incolto ad anni alterni. L'irrigazione fornisce aumenti ancora maggiori.

Il tipo e la quantità dei mezzi tecnologici impiegati sono in funzione dei mercati attuali e del sistema sociale dominante. Con sistemi diversi si possono potenziare al massimo le varie risorse. È chiaro che l'Indonesia tende a sfruttare al massimo le scarse risorse del terreno, ossia il naturale apporto di sostanze nutritive inorganiche. Il Giappone sfrutta al massimo la quantità di radiazione solare fornendo sostanze nutritive allo scopo di ottenere una produzione elevata per unità di superficie. Strategie analoghe sono impiegate in Israele e in Olanda. Questi paesi che dispongono di poche terre coltivabili forniscono una definizione pratica di agricoltura intensiva, ossia indicano fino a che punto il livello di produzione si può avvicinare al potenziale permesso dalla biologia e dal clima.

L'agricoltura degli Stati Uniti è di intensità media. Si potrebbe supporre che l'impiego intensivo di macchine esistente negli Stati Uniti indichi una agricoltura altamente intensiva, ma i macchinari da soli non costituiscono un indicatore di intensità. Sebbene la meccanizzazione contribuisca a una parziale intensificazione (per esempio, mediante una migliore distribuzione delle sementi e un raccolto tempestivo), la produzione può anche diminuire quando l'uso dei macchinari richieda solchi più distanziati e quanto il loro impiego aumenti la compattezza del terreno. L'agricoltura meccanizzata degli Stati Uniti si riflette nella ottimizzazione del lavoro in un ambiente sociale dove terreno, energia e capitale sono relativamente poco costosi.

All'estremità inferiore della scala dell'intensificazione si colloca l'agricoltura di gran parte dell'Asia e dell'Africa, dove la produzione dei cereali varia fra i 700 e i 1400 chilogrammi per ettaro. La maggior parte dei sistemi agricoli sono antichi e alcuni di essi abbastanza bene armonizzati con l'ambiente. Gli apporti esterni, come fertilizzanti e macchinari, sono bassi. Tali sistemi rappresentano un tipo di equilibrio ecologico dinamico che potrebbe continuare indefinitamente. Ammesso che il livello della popolazione umana si mantenga entro la capacità del sistema è possibile che questi sistemi siano probabilmente sicuri quanto qualsiasi altro. Anche i sistemi di carattere intensivo sono relativamente sicuri, a patto che ricevano sufficiente manutenzione, ricerca e la massima priorità per quanto riguarda i fattori terra ed energia. La loro stabilità è quindi determinata da fattori esterni al sistema.

Tutti questi sistemi sono molto sensibili alle condizioni del mercato. La produzione che non può essere convogliata verso i mercati, direttamente o per mezzo del bestiame, ha poco valore per la società. Come risultato la produzione è fortemente costretta ad adeguarsi alla domanda. Le decisioni a livello direttivo sulla qualità e sulla quantità di terreno da destinarsi a ogni coltura, sulle varietà delle colture, sugli usi del raccolto e sull'intensità dello sforzo agricolo fanno sì che il livello della produzione vari entro limiti molto ampi.

In molti casi, i fattori contrari all'aumento della produzione sono fortissimi nelle società che di questo aumento avrebbero maggiore bisogno. Allo scopo di soddisfare i fabbisogni urbani, molti paesi in via di sviluppo sono stati costretti a instaurare una politica che favorisce un basso costo dei prodotti alimentari con un conseguente basso reddito per gli agricoltori. Si è potuto mantenere questo stato di cose perché i mercati alimentari mondiali sono stati depressi per cento anni circa dall'abbondante produzione agricola nordamericana.

Come conseguenza degli effetti dei fattori sociali, poco si può dedurre circa il comportamento potenziale di un sistema agricolo attraverso l'esame del suo funzionamento attuale, a meno che l'analisi non venga accentrata su questioni biologiche, sulle condizioni del terreno e sul clima. Considerando solo questi fattori naturali, si può affermare che con la disponibilità attuale di terra coltivabile, con una dieta largamente vegetariana, basata sulla produzione ottenibile con le conoscenze di cui disponiamo ora, e con una notevole quantità di energia e di sforzo umano, la Terra potrebbe sostentare una popolazione di 50 o più miliardi. Il sistema alimentare dipenderebbe largamente, tuttavia, dal funzionamento armonioso di una società più ampia. Per esempio, la fame che colpì l'Irlanda nella decade 1840-1850 è stata indicativa più del fallimento delle istituzioni umane che non di quello della biologia. La biologia e il clima potranno cambiare, e l'adattamento richiede tempo. Anche un sistema agricolo moderatamente intensivo, come quello praticato negli Stati Uniti, necessita di una costante attenzione alle risorse genetiche e all'apporto di energia. Non è più possibile trascurare benevolmente l'agricoltura, come se si trattasse di uno degli impegni secondari dell'uomo.

È raffigurata la suddivisione dell'energia usata nella produzione di granoturco ed erba. Circa il 93 per cento dell'energia solare che giunge sulla Terra a un tasso di 500 calorie per centimetro quadrato torna all'atmosfera. Con abbondanza di sostanze nutritive inorganiche e di acqua e con una copertura completa di foglie, circa il 7 per cento dell'energia solare può essere convertito in fotosintesi. Il 2 per cento è usato per la respirazione necessaria alla crescita e al mantenimento della coltura e il 5 per cento è trasformato in sostanza secca. Per quanto riguarda il granoturco, il 3 per cento va nelle radici, nei fusti e nelle foglie, che costituiscono un residuo del raccolto che è riciclato nel terreno, oppure serve per l'alimentazione del bestiame, e il 2 per cento si trasforma in chicchi commestibili direttamente dall'uomo. Circa il 4 per cento dell'erba può essere consumato dal bestiame. L'energia rappresentata dal cibo consumato dall'uomo e dagli animali è ulteriormente ripartita fra il bestiame e il granoturco, come indicato dal diagramma.

L'agricoltura negli Stati Uniti

La sua elevata produttività è dovuta a una politica agraria aperta alle innovazioni, caratterizzata da bassi costi dei mezzi di produzione e da prezzi stabili per i prodotti

di Earl O. Heady

L'agricoltura degli Stati Uniti svolge attualmente una funzione unica, di importanza vitale, nell'economia della nazione americana e del mondo intero. A livello nazionale, il settore agricolo ha goduto di profitti elevati nel corso degli ultimi tre anni, quando la maggior parte degli altri settori economici stava sperimentando un periodo di recessione e di diminuizione del reddito. L'occupazione nell'agricoltura è rimasta abbastanza stabile, mentre in altri settori dell'economia il tasso di disoccupazione è aumentato in misura notevole. Recentemente, inoltre, è rallentata quella tendenza secolare dell'emigrazione di manodopera dalle campagne che era una conseguenza delle innovazioni tecnologiche introdotte nell'agricoltura. Negli ultimissimi anni il capitale fondiario, particolarmente la terra, ha avuto un rapidissimo aumento di valore, fino a toccare livelli record. Durante gran parte del medesimo periodo, per contrasto, titoli e azioni hanno avuto corso molto depresso. Anche durante la recessione mondiale, fra il 1973 e la fine del 1975, il valore in dollari delle esportazioni americane di prodotti agricoli è salito a un livello annuo medio di 18,5 miliardi di dollari, con un aumento annuo medio del 167 per cento rispetto al periodo 1968-1972. Le esportazioni agricole hanno avuto una parte crescente negli scambi con l'estero e hanno svolto una funzione importante nel rendere positiva la bilancia commerciale degli Stati Uniti.

Nell'economia mondiale l'agricoltura americana ha dominato le esportazioni di generi alimentari. Fra il 1973 e il 1975 le esportazioni di cereali degli Stati Uniti hanno coperto il 65 per cento delle esportazioni totali di cereali nel mondo. L'importanza della parte avuta dall'agricoltura americana nel risolvere problemi di scarsità di generi alimentari nel mondo è chiara. Oggi viene avviato all'esportazione il prodotto di circa uno ogni cinque ettari di terra coltivata negli Stati Uniti e viene immessa sui mercati mondiali la produzione di un 14 per cento abbondante della forza-lavoro agricola americana. Eppure l'agricoltura occupa solo il 5 per cento della manodopera degli Stati Uniti e solo il 4,4 per cento della popolazione nazionale. Nessun altro grande paese produttore di generi alimentari, con una popolazione dell'ordine di grandezza di quella degli Stati Uniti, si avvicina a questi ultimi nella misura in cui è stata ridotta in essi la forza-lavoro agricola. È la grande produttività dell'agricoltura americana a consentire agli Stati Uniti di utilizzare una quantità così ridotta di manodopera.

In che modo l'agricoltura americana ha potuto raggiungere una tale supremazia mondiale nella produttività? Il settore agricolo degli Stati Uniti ha raggiunto i limiti della sua capacità produttiva oppure tale capacità può essere accresciuta ulteriormente? Gli elementi chiave di tale produttività possono essere adottati da altri paesi? Quali problemi economici e sociali possono minacciare il settore agricolo degli Stati Uniti?

Economisti e altri specialisti agrari degli Stati Uniti hanno sondato negli ultimi due decenni il mondo dei paesi in via di sviluppo per trovare la chiave di uno sviluppo agricolo efficace. Non avrebbero però avuto bisogno di andare tanto lontano: sarebbe loro bastato considerare attentamente la storia degli Stati Uniti.

Nel corso degli ultimi due secoli gli Stati Uniti hanno svolto un programma di sviluppo agricolo che si è dimostrato il migliore, il più logico e il più efficace del mondo intero. Altri paesi farebbero bene a seguirne l'esempio. Benché il programma sia stato messo a punto pezzo per pezzo nel corso di molti decenni, un elemento costante è stato l'adozione deliberata di provvedimenti politici per incoraggiare il settore agricolo a espandere le sue risorse e accrescere la sua produzione. In conseguenza di una tale politica coscientemente perseguita, il consumatore negli Stati Uniti ha la possibilità di acquistare generi alimentari a un prezzo favorevole. Nel 1971 soltanto il 15,7 per cento del reddito a disposizione del consumatore americano medio fu speso per l'acquisto di generi alimentari. (Nel 1975 la percentuale salì al 16,8 per cento a causa dell'inflazione.) Per confronto, nei paesi in via di sviluppo il consumatore medio spese nel 1971 per il vitto il 65 per cento del reddito disponibile; in URSS tale percentuale fu del 30 per cento e nei paesi della CEE del 26 per cento.

Quali sono gli elementi specifici di una politica di sviluppo agricolo efficace e cosciente? Innanzitutto, l'orientamento del governo dev'essere quello di ampliare la disponibilità di risorse importanti per l'agricoltore e di mantenerne bassi i prezzi. In secondo luogo si tratta di mantenere relativamente elevati e stabili i prezzi dei prodotti agricoli. In terzo luogo, si deve creare un sistema di proprietà che strutturi i costi delle aziende agricole in un modo favorevole alle innovazioni. In quarto luogo, il governo deve incoraggiare la ricerca e la tecnologia e assicurare all'agricoltore un flusso adeguato e continuo di informazione sulla disponibilità di nuove tecniche e sulla tecnologia. Gli Stati Uniti hanno integrato tutti questi elementi nella loro politica di svi-

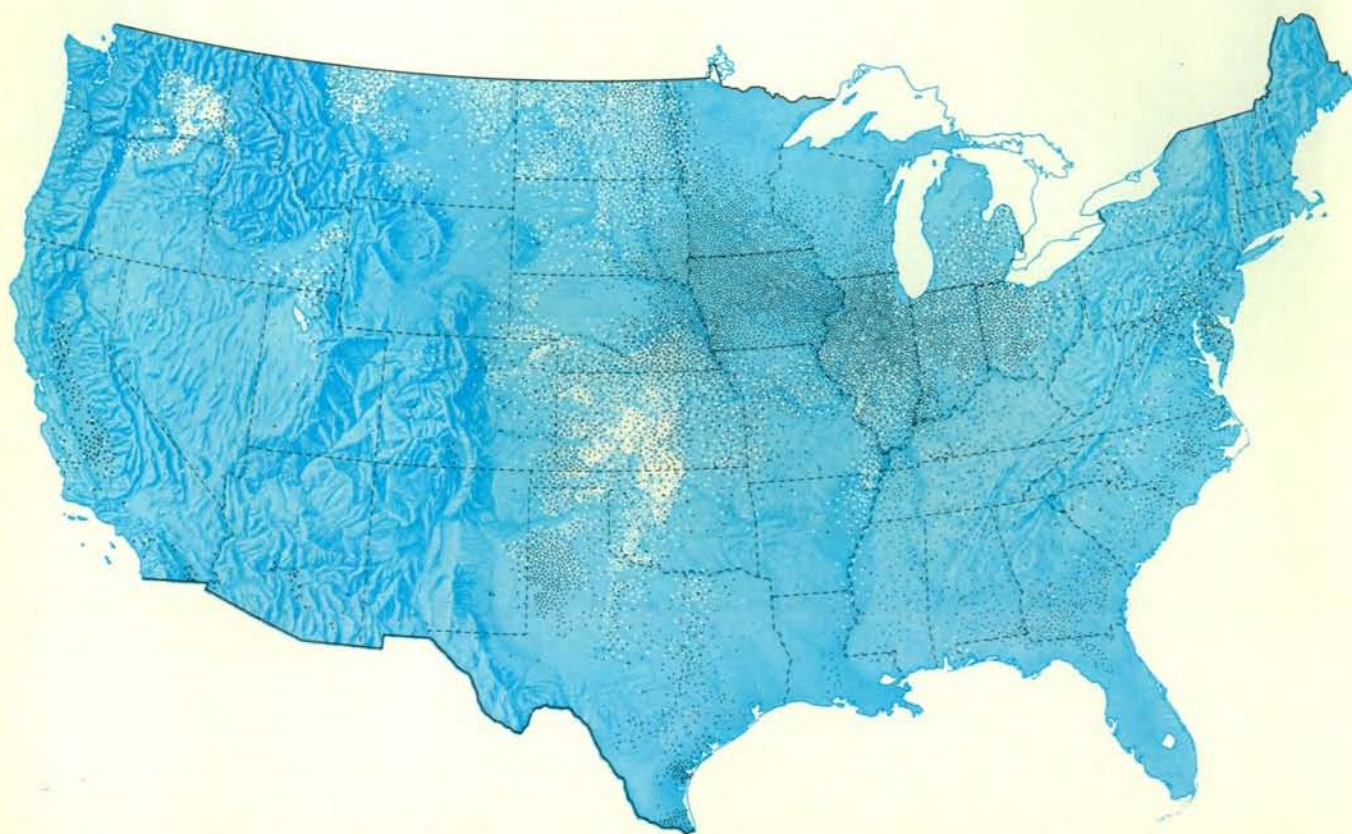
Grandi campi rettangolari, allineati in prevalenza lungo assi nord-sud ed est-ovest, costituiscono la struttura caratteristica dei terreni agricoli nella regione delle Great Plains degli Stati Uniti, rappresentata nella pagina a fronte da un'immagine scattata dal satellite LANDSAT 2 il 5 luglio 1975. La figura comprende una parte della Red River Valley in prossimità del confine fra il North Dakota e il Minnesota. La grande area azzurra a sinistra in alto, in prossimità dell'incrocio di due grandi strade, è la città di Grand Forks. Nel sistema a colori falsati usato per realizzare questa immagine, le aree rosse sono campi coltivati, le aree azzurre sono terreni incolti, le aree nere sono acque di una recente inondazione e le chiazze bianche sono nubi. L'area a destra in basso è intersecata da strade che delimitano i confini dei campi. All'epoca in cui fu scattata questa fotografia le principali colture erano frumento, patate e barbabietole.

luppo agricolo, a volte separatamente e a volte combinandoli l'uno con l'altro.

All'inizio dello sviluppo agricolo negli Stati Uniti la terra era abbondante e la manodopera costava poco. Gli investimenti in mezzi di produzione come macchine agricole e fertilizzanti e nei mezzi di sussistenza della famiglia dell'agricoltore erano relativamente modesti e per lo più l'azienda agricola era autosufficiente. Gli agricoltori si procuravano la forza-lavoro di cui avevano bisogno sotto forma del lavoro fisico dei membri della famiglia e degli animali allevati nella fattoria. Essi utilizzavano inoltre per il lavoro l'energia solare sotto forma delle piante alimentari coltivate nell'azienda e consumate dalle persone o dagli animali. Gli agricoltori erano autosufficienti anche per quanto concerneva la produzione di fertilizzanti, che ottenevano per mezzo di una rotazione delle colture e utilizzando il letame prodotto dagli animali.

Grazie alla disponibilità di terra le aziende agricole si svilupparono rapidamente in tutta la nazione. L'aumento della loro produzione potè essere assorbito prontamente dal mercato. La domanda di generi alimentari era abbastanza elastica in conseguenza del costante aumento della popolazione, del reddito pro capite e delle esportazioni. Anche le strutture di distribuzione dei generi alimentari si svilupparono grazie alle misure del governo, quali assegnazioni di terreni ai costruttori di ferrovie. In coincidenza con lo sviluppo dei mercati e con l'aumento della domanda di generi alimentari, la politica agricola puntò prevalentemente a uno sviluppo fondato su una massiccia offerta alle aziende agricole, a prezzi modesti, di tutto ciò di cui avevano bisogno per operare. In generale la politica di sviluppo agricolo della nazione andò contemporaneamente a beneficio degli agricoltori, che ebbero la possibilità di comprare terre a bassi prezzi e di procurarsi un reddito elevato, e dei consumatori che poterono trarre vantaggio dai bassi prezzi dei generi alimentari.

La politica agricola americana nell'ottocento fu senza dubbio la politica di sviluppo più efficiente che il mondo abbia mai sperimentato. Dopo che gli Stati Uniti ebbero raggiunto nella colonizzazione del *West* la costa del Pacifico e la domanda pubblica di assegnazioni di terre si fu esaurita, il governo non considerò conclusa la politica di sviluppo agricolo, ma si limitò semplicemente a rettificare il proprio indirizzo. Invece di continuare a insistere sull'espansione, cominciò a spostare il tiro sulla produttività. Rivolse la propria attenzione alla conoscenza scientifica e alla nuova tecnologia come a risorse fondamentali per la produzione, le quali dovevano essere fornite a basso prezzo o gratuitamente. Il Morrill Act del 1862 creò un sistema di concessione di terre a istituti scolastici per incoraggiare la ricerca e per comunicare agli agricoltori le nuove conoscenze tecniche. Le nuove tecniche furono in pratica un efficace surrogato della terra, la cui offerta non era ulteriormente dilatabile: fra il 1910 e il 1970 la produzione dell'agricoltura americana pressappoco si raddoppiò; nel 1970, inoltre, la nazione stava producendo gli alimenti di cui aveva bisogno utilizzando un numero di ettari considerevolmente minore di quello utilizzato nel 1910 ed erano in vigore programmi per il controllo della produzione. I risultati del pubblico impegno nel miglioramento tecnico dell'agricoltura furono particolarmente evidenti dopo il 1940, quando la ricerca divenne più sofisticata e sistematica. Le tecnologie incorporate nelle nuove pratiche agricole avevano inoltre un costo relativamente basso rispetto alla quantità di produzione agricola che rendevano possibile. Le nuove tecnologie vennero perciò adottate rapidamente e fra il 1950 e il 1960 permisero di sopperire alle limitazioni non solo di terra ma anche di manodopera. Il risultato di questa situazione fu che, fra il 1950 e il 1955, più di un milione di lavoratori migrarono dall'agricoltura ad altri settori dell'economia americana.

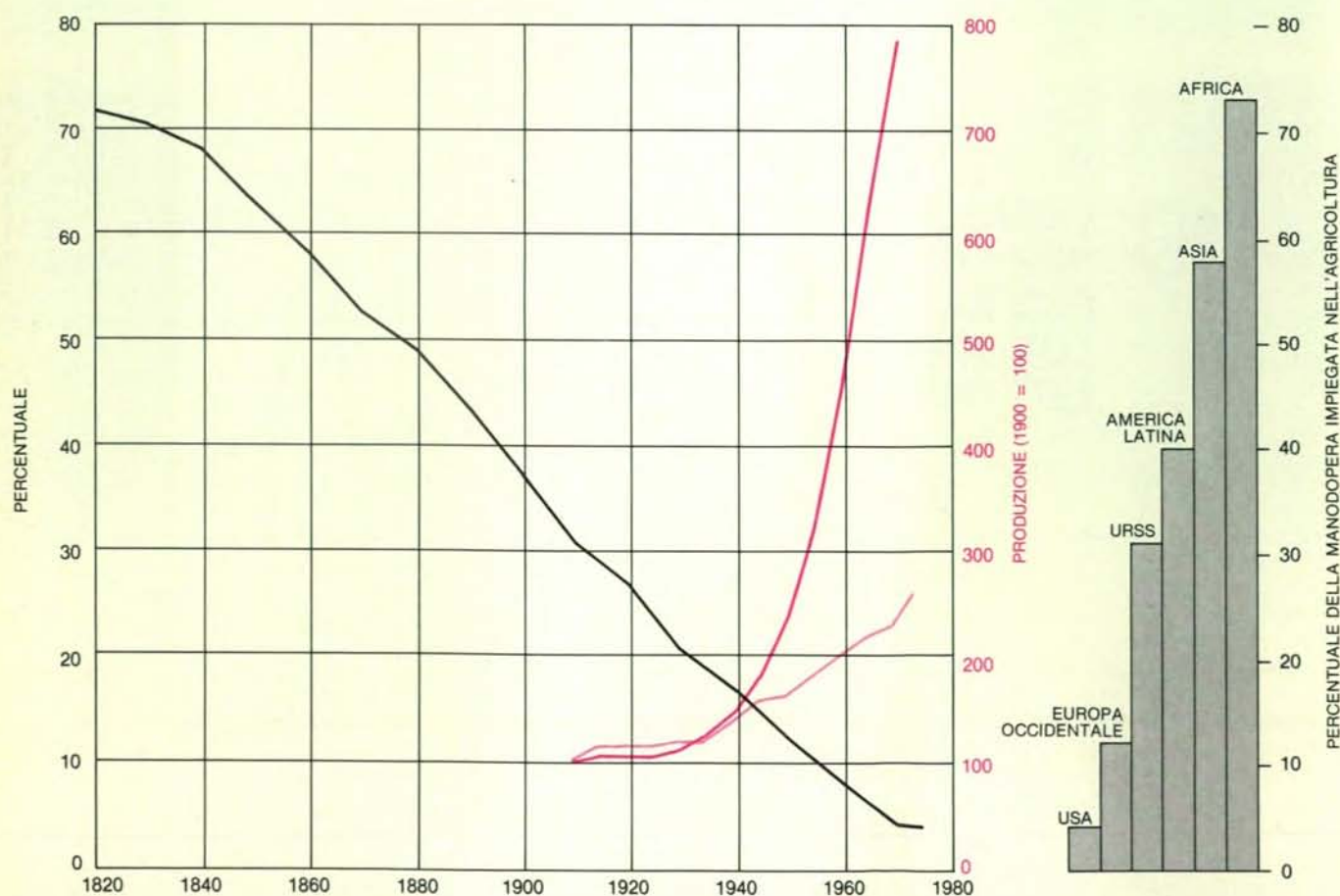
Anche altri provvedimenti del governo contribuirono ad accrescere la disponibilità di mezzi e risorse di cui l'agricoltura aveva bisogno e quindi a ridurne il prez-

Questa cartina degli Stati Uniti indica i principali cereali coltivati nel paese. I puntini bianchi rappresentano le estensioni dedicate alla coltura di frumento per l'alimentazione umana. I puntini in nero rappresentano le estensioni dedicate alla coltura dei principali cereali usati per mangimi animali (granoturco, sorgo, orzo e avena). L'autore suggerisce che se gli americani riducessero del 25 per cento il consumo di carne e se insilassero il 25 per cento dei cereali usati per gli animali, le esportazioni destinate ai paesi poveri potrebbero più che raddoppiarsi.

zo. Il Federal Farm Loan Act del 1916, una legge che fissava condizioni particolarmente favorevoli per i prestiti alle aziende agricole, e la successiva legislazione fornirono un sostegno pubblico all'agricoltura consentendo agli agricoltori di ottenere macchine agricole e altre risorse di cui avevano bisogno pagandole ratealmente con tassi d'interesse più bassi di quelli vigenti nel mercato libero. Analogamente, il National Reclamation Act del 1902 creò la possibilità per gli agricoltori di ottenere con sovvenzioni terre semiaride nel *West*, per incoraggiarne lo sviluppo e per mezzo dell'irrigazione.

La politica di sviluppo agricolo degli Stati Uniti è stata portata avanti con grande energia per gran parte degli ultimi duecento anni. Essa è ancora in atto e si riflette nelle sovvenzioni pubbliche a favore della ricerca, dell'istruzione, dei crediti agricoli e in altri programmi che sviluppano nuove tecnologie fondamentali per la produzione agricola e ne incoraggiano l'utilizzazione da parte degli agricoltori. La politica di sviluppo dell'agricoltura negli Stati Uniti è un esempio classico a cui i governi delle nazioni in via di sviluppo, che peraltro si trovano in genere in condizioni climatiche e pedologiche meno favorevoli, possono ispirarsi.

Una nazione può puntare a una politica di sviluppo per favorire simultaneamente agricoltori e consumatori solo quando la domanda di generi alimentari è elastica e in espansione. Anche se così fu negli Stati Uniti fino all'inizio del XX secolo, attorno al 1920 il reddito pro capite era salito abbastanza da rendere molto anelastica la domanda interna di cibo. I redditi erano pervenuti cioè al livello in cui i consumatori erano in grado di comprare tutto il cibo di cui avevano bisogno e ulteriori aumenti del reddito avrebbero potuto avere ben poco effetto sul consumo di generi alimentari. Il risultato di una tale anelasticità è che un aumento dell'1 per cento nella produzione di generi alimentari conduce a una diminuzione dei prezzi di più dell'1 per cento. Se altri fattori, come le esportazioni, rimangono a livelli costanti, un aumento della produzione agricola superiore al tasso d'incremento demografico determina una diminuzione del prezzo di mercato dei generi alimentari più rapida dell'aumento della domanda. Di conseguenza il reddito reale totale di mercato dei prodotti agricoli diminuisce.

Un tale declino ebbe inizio dopo il 1920 e fu intensificato dalla grande depressione degli anni trenta. Si attenuò durante la seconda guerra mondiale e nel periodo della ricostruzione postbellica, quando gli Stati Uniti esportarono generi alimentari in paesi dove la produzione agricola era stata sconvolta dalla guerra. Ma nel 1950 la produzione agricola mondiale era tornata alla normalità. La situazione di mercato per i prodotti agricoli degli Stati Uniti tornò a essere quella di una domanda molto anelastica sia all'interno sia all'estero. Si erano ripresentate le condizioni degli anni venti. Lo sviluppo agricolo e una maggiore produzione rurale non potevano più garantire da soli una situazione vantaggiosa sia per gli agricoltori, sia per i consumatori perché i benefici e i costi dell'espansione della produzione non erano ripartiti in modo equo. Il continuo aumento della produzione agricola si risolveva in un beneficio per i consumatori, che potevano pagare un prezzo reale inferiore per i generi alimentari, mentre gli agricoltori subivano una diminuzione di reddito.

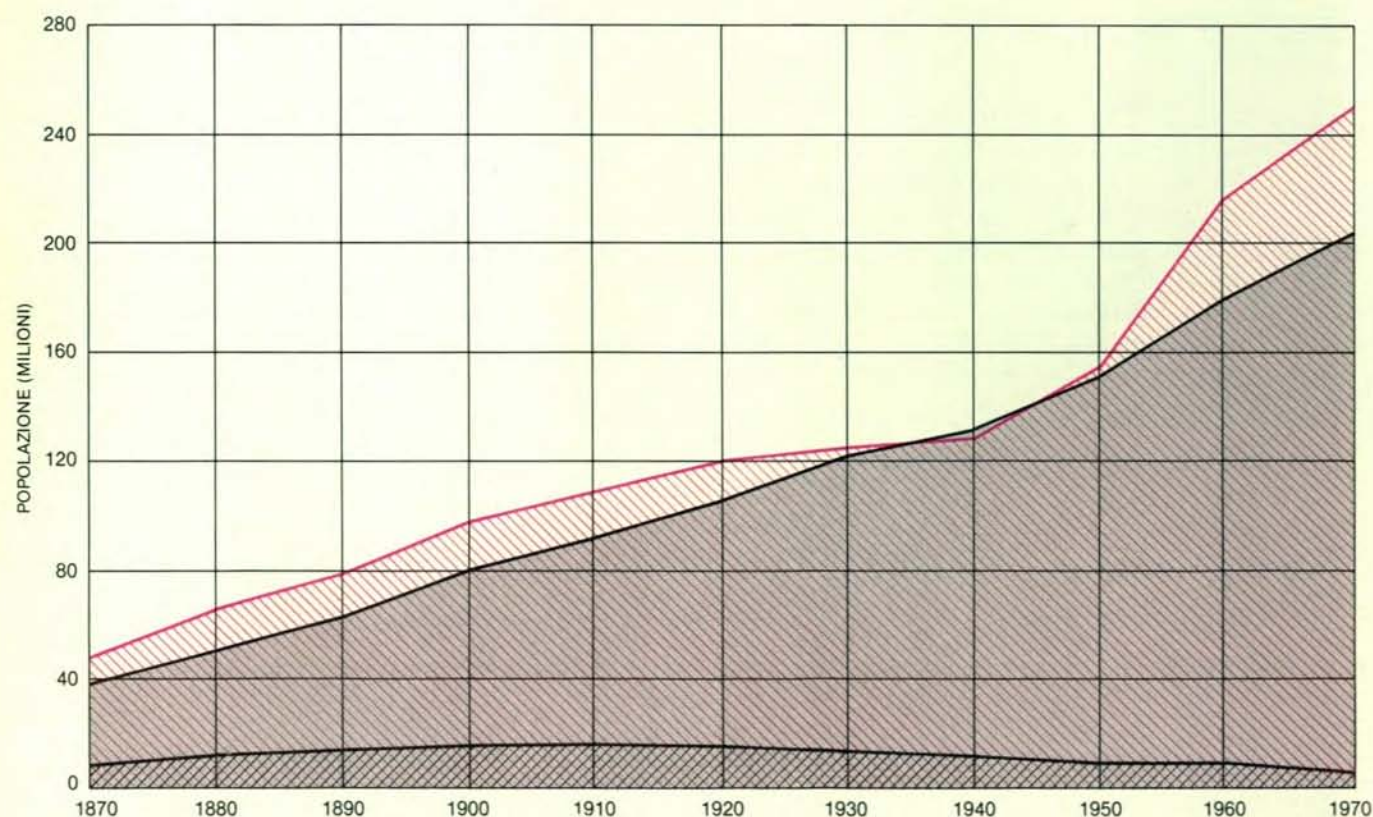
Per controbilanciare gli effetti della anelasticità della domanda, la politica agricola negli Stati Uniti assunse un altro indirizzo. Si cominciò a varare una serie di programmi di compensazione per man-

La percentuale della manodopera impiegata nell'agricoltura degli Stati Uniti (*linea in nero*) è declinata costantemente nel corso degli ultimi 150 anni (*a sinistra*). Eppure, fra il 1910 e il 1970, la produzione agricola è approssimativamente raddoppiata (*linea in colore chiaro*). È inoltre aumentata in misura enorme la produttività delle aziende agricole americane per ogni lavoratore agricolo (*linea in colore scuro*). Per confronto, la percentuale della manodopera impiegata nell'agricoltura in altre parti del mondo è rappresentata dagli istogrammi a destra. Le percentuali indicano le medie calcolate su aree molto grandi e non sottolineano quindi il fatto che, per esempio, in Israele la percentuale della forza-lavoro impiegata nell'agricoltura rappresenta solo il 7 per cento, mentre nel Ciad questa percentuale raggiunge il 91 per cento.

tenere il reddito agricolo a un livello accettabile. Gli agricoltori furono pagati per ridurre le estensioni di terreno coltivato e la produzione. Una produzione ridotta fu in grado di spuntare sul mercato prezzi più elevati. Agli agricoltori furono concessi anche prestiti e possibilità di immagazzinamento dei loro prodotti in modo da rendere possibile un controllo del ritmo con cui i loro prodotti venivano immessi sul mercato. Furono inoltre escogitati programmi internazionali di aiuti per sovvenzionare le esportazioni - a volte in effetti i prodotti venivano regalati - al fine sia di accrescere la domanda di generi alimentari, sia di incoraggiare i paesi in via di sviluppo ad accettarli. Tali programmi, finanziati dal contribuente americano durante gli anni trenta e poi di nuovo dagli anni cinquanta a tutto il 1972, esercitarono un effetto di compensazione in due sensi. In primo luogo i programmi sussidiarono direttamente gli agricoltori per compensarli della riduzione del loro reddito di mercato in conseguenza del fatto che l'offerta di cibo aumentava più rapidamente della domanda. In secondo luogo, controllando la produzione agricola i programmi controbilanciarono o compensarono la maggiore produttività delle aziende agricole.

Dopo gli anni trenta, quindi, gli Stati Uniti ebbero in atto sia programmi di sviluppo, sia programmi di compensazione. Questi ultimi non controbilanciarono né eliminarono totalmente gli effetti dei programmi di sviluppo. Poiché l'agricoltura continuava a migliorare la sua tecnologia, i programmi che controllavano l'offerta di generi alimentari sul mercato servivano solo a rallentare l'aumento della produzione agricola, non a bloccarlo. Fra il 1950 e il 1972 il prezzo delle nuove tecnologie della produzione agricola rimase favorevole anche rispetto ai modesti prezzi di mercato dei prodotti e la produttività agricola continuò ad aumentare. Le fattorie divennero più grandi e più specializzate, producendo raccolti o bestiame anziché entrambi. Le aziende che si specializzarono nelle coltivazioni accrebbero in grande misura la utilizzazione di fertilizzanti, di insetticidi, di macchine agricole e di altri mezzi di produzione. Fra il 1950 e il 1972, per esempio, l'impiego di fertilizzanti aumentò del 276 per cento. L'uso di macchine a motore aumentò del solo 30 per cento ma nel 1972 il numero delle aziende agricole era notevolmente diminuito rispetto al 1950 e la fattoria media era assai più meccanizzata di quanto non fosse la sua equivalente nel 1950. Una conseguenza di questo stato di cose fu che in quel periodo la manodopera agricola diminuì del 54 per cento mentre la produttività si quadruplicò e la produzione agricola totale registrò un aumento del 55 per cento.

I programmi di compensazione richiesero un grande sforzo finanziario e negli anni sessanta il contribuente fu invitato a fare sacrifici sensibili. Nel 1968 il costo annuo totale dei programmi aveva raggiunto l'ammontare di 5,7 miliardi di dollari e nel 1972 era salito a 7 miliardi di dollari. Nel 1965 più di un terzo di tutto il frumento coltivato negli Stati Uniti fu esportato, e più di un quarto fu avviato all'esportazione nel 1970. Altre esportazioni sussidiate nell'ambito dei programmi di aiuti all'estero furono cereali per mangimi, riso, tabacco e latte. Gli anni settanta si presentarono in principio come una continuazione delle tendenze manifestatesi negli anni cinquanta e sessanta.

Nessuno avrebbe potuto infatti prevedere l'esito disastroso del raccolto del grano del 1972 in Russia. Una conseguenza fu che, tra il 1972 e il 1973, le esportazioni di frumento americane quasi raddoppiarono. Aumentarono anche le esportazioni di cereali per mangimi. In conseguenza dei cattivi risultati della pesca delle acciughe in Perù nel 1973 e 1974 e quindi della scarsità di proteine in aree che facevano affidamento sulle acciughe per integrare i mangimi, nel 1973 le esportazioni di semi di soia, ricchi di proteine, raddoppiarono rispetto al 1971.

Con livelli di esportazione così elevati,

La produttività dell'agricoltura statunitense si è mantenuta elevata durante la maggior parte degli ultimi cent'anni in conseguenza della politica di sviluppo agricolo perseguita da questo paese. L'area grigia rappresenta la popolazione totale degli Stati Uniti a intervalli di dieci anni dal 1870 al 1970. L'area tratteggiata in nero rappresenta il numero dei lavoratori impiegati nell'agricoltura nello stesso periodo. L'area tratteggiata in colore rappresenta il numero di persone che quei lavoratori potrebbero nutrire. Sebbene il numero di persone impiegate nell'agricoltura nel 1970 fosse approssimativamente pari alla metà del numero dei lavoratori agricoli nel 1870, nel 1970 la produttività di ogni lavoratore agricolo fu dieci volte maggiore. Oggi l'agricoltura americana è in grado di nutrire circa 50 milioni di persone oltre a quelle che vivono nel paese e il 20 per cento della produzione agricola è esportato. I limiti della produttività non sono ancora raggiunti.

i prezzi dei prodotti agricoli ebbero una rapida ascesa. Nel 1974 e 1975, inoltre, la produzione agricola americana toccò punte record. Anche i redditi della agricoltura salirono perciò a livelli di primato. Il rapido aumento di reddito mise gli agricoltori in una posizione molto favorevole per migliorare la produttività delle loro aziende; anche se molti agricoltori approfittarono di questa opportunità per estinguere in anticipo le loro ipoteche, la maggior parte di essi utilizzò gli alti guadagni per acquistare nuove macchine agricole, per migliorare il livello di vita e per ampliare le fattorie comprando altra terra. Di conseguenza, fra il 1970 e il 1975 il valore dei terreni agricoli aumentò di più del 100 per cento.

I programmi di controllo dell'offerta di prodotti agricoli furono aboliti all'inizio del 1974. Negli ultimi tre anni, quindi, l'agricoltura degli Stati Uniti si è trovata a operare in un mercato libero.

Pur avendo mantenuto i redditi agricoli a livelli accettabili, i programmi di compensazione hanno avuto un effetto sfavorevole su taluni gruppi e talune condizioni estranee alle aziende agricole; un effetto che non si è attenuato neppure dopo l'interruzione di tali programmi. Il mutamento nella natura stessa della produzione rurale, con la sua maggiore produttività e il suo grado più elevato di meccanizzazione, ha inciso in modo molto sfavorevole sulle comunità rurali nelle zone agricole. Con la diminuzione della popolazione rurale, la domanda dei beni e di servizi commerciali nelle cittadine delle campagne è andata calando. Le opportunità di impiego e di guadagno nelle comunità rurali tipiche sono perciò diminuite sensibilmente. Man mano che la gente abbandonava tali comunità, diminuiva anche il numero delle persone che rimanevano a usufruire dei servizi scolastici, delle attrezzature sanitarie e di altre istituzioni. Col diminuire della domanda, tali servizi declinavano per quantità e qualità, mentre il loro costo aumentava.

I gruppi non agricoli che facevano parte delle comunità rurali divennero meno numerosi quando molte aziende commerciali misero fine alle loro attività e i loro agenti si trasferirono altrove, lasciando andare in rovina le loro residenze. Anche se i programmi di compensazione contribuirono a far sì che le aziende agricole non perdessero il loro reddito, non ci furono programmi simili per altre imprese in aree rurali.

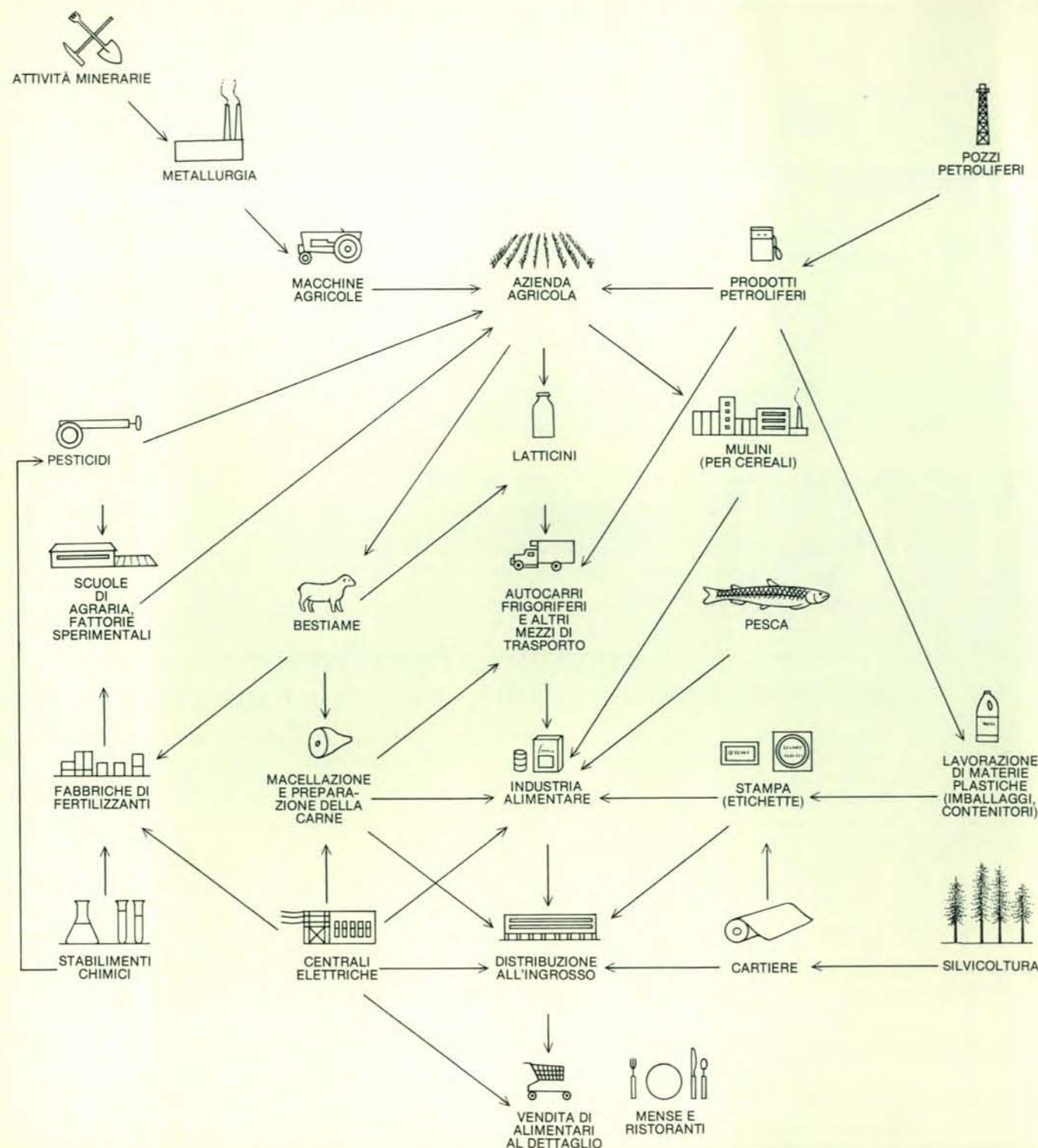
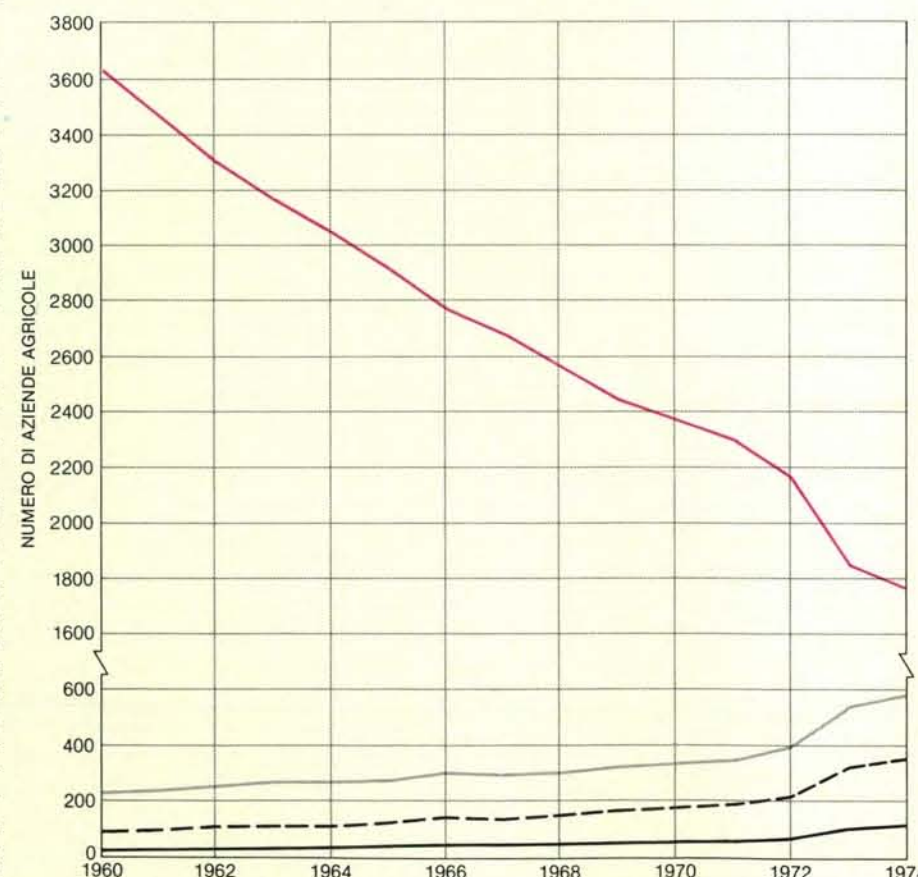
Il rapido sviluppo agricolo negli Stati Uniti in decenni recenti ha inciso in modo massiccio anche sull'ambiente. Le aziende agricole si sono ampliate e specializzate nella coltivazione di piante come frumento, granoturco e soia, impoverendo il terreno di talune sostanze nutritive specifiche e richiedono così quantità maggiori di fertilizzanti. Quando i programmi governativi di controllo dell'offerta, negli anni cinquanta e sessanta, fissarono limiti alle estensioni di terreno coltivato, gli agricoltori coltivarono le aree consentite in modo più intensivo e impiegarono quantità ancora più elevate di fertilizzanti e di insetticidi. Aumentò così il carico imposto a fiumi e laghi dall'afflusso delle sostanze chimiche provenienti dalle aziende agricole.

Lo sviluppo dell'agricoltura americana, d'altra parte, ha accelerato la crescita di un'intera industria agricola, l'«*agribusiness*», della quale l'agricoltura è solo una piccola parte. La moderna industria agricola ha tre componenti principali. La prima è l'industria che produce gli strumenti primari dell'agricoltura: le sementi, le macchine agricole, i fertilizzanti, gli insetticidi, il carburante e altre cose di cui c'è bisogno per un'attività su vasta scala. La seconda componente è la fattoria stessa, la quale utilizza le risorse elencate in precedenza nella coltivazione di piante e nell'allevamento di animali. La terza componente è l'industria alimentare, la quale acquista i prodotti agricoli, li trasporta in centri di lavorazione dove essi vengono cotti, inscatolati, surgelati, disidratati, rigenerati, confezionati ed etichettati, e poi distribuiti alla vendita all'ingrosso e al dettaglio.

L'industria che procura all'agricoltura tutti quei mezzi e quelle risorse di cui ha bisogno per poter realizzare la sua produzione, fornisce oggi molte cose che un tempo venivano prodotte direttamente nella fattoria. Oggi i trattori sostituiscono gli animali da tiro, i combustibili fossili sostituiscono i mangimi, i fertilizzanti chimici sostituiscono lo stallatico e le piante fissatrici di azoto. Tali sviluppi non soltanto hanno determinato lo spostamento di una proporzione sempre maggiore della forza-lavoro agricola dalle fattorie al settore industriale che fornisce i mezzi e le risorse precedenti, ma hanno anche accresciuto il costo in denaro dell'attività di produzione agricola come percentuale del costo totale. La proporzione maggiore dei costi in denaro ha reso i profitti agricoli molto più vulnerabili alle oscillazioni dei prezzi di quanto non fossero in precedenza.

Il settore alimentare si è sviluppato in anni recenti fino a rappresentare nell'industria agricola considerata nel suo complesso una proporzione maggiore di quella rappresentata dall'agricoltura stessa. Nel 1975 il 42 per cento delle somme spese dai consumatori per generi alimentari nel commercio al minuto andò agli agricoltori e il 58 per cento alle industrie alimentari. Anche la famiglia agricola tipica ormai compra cibi surgelati, confezionati e pronti all'uso al supermercato anziché consumare i prodotti ottenuti e preparati nella fattoria.

La percentuale maggiore dei costi connessi alla lavorazione degli alimenti e al loro trattamento, dal momento in cui escono dalla fattoria a quello in cui entrano nel negozio del dettagliante, concerne la manodopera, che ne assorbe il 51 per cento. Il restante 49 per cento va diviso fra il procedimento di lavorazione, i materiali per l'imballaggio e la confezione, il trasporto, i noleggi, gli ammortamenti, la pubblicità, gli interessi passivi, le spese di manutenzione, le tasse e altre spese. Tali costi continueranno ad aumentare poiché i consumatori, comprese le famiglie delle aziende agricole, richiedono un sempre maggior grado di lavorazione e un maggior numero di servizi connessi ai loro alimenti. La tendenza a un aumento dei costi (e dei prezzi) sta intensificandosi perché l'industria dei cibi pronti prospera sempre di più e perché un numero sempre maggiore di persone consuma i pasti lontano da casa.

La trasformazione subita dall'agricoltura ha molto migliorato la posizione finanziaria degli agricoltori in possesso di grandi tenute, per i quali il periodo compreso fra il 1960 e il 1975 è stato quello più proficuo nella storia dell'agricoltura. La situazione non è altrettanto

L'intera industria alimentare americana è connessa strettamente a molti settori dell'economia e va molto oltre il solo settore agricolo. Questo diagramma fornisce un quadro dell'interazione del settore agricolo e di altre attività. L'agricoltura è alimentata, a monte, da industrie che le forniscono strumenti come macchine agricole e fertilizzanti; a valle della produzione della fattoria c'è l'industria alimentare. La tabella delle entrate e delle uscite a pagina 94 illustra particolareggiatamente l'interazione di agricoltura e industria in termini monetari.

Il numero delle piccole aziende agricole è diminuito fra il 1960 e il 1974 e nello stesso periodo è aumentato il numero delle grandi aziende. Questo fenomeno è dovuto al fatto che i costi in denaro della produzione agricola sono diventati così elevati che gli agricoltori privi di capitali sufficienti non sono in grado di competere con i proprietari di grandi aziende. Le aziende sono raggruppate a seconda che vendano annualmente prodotti per più di 100 000 dollari (*linea nera continua*), per una somma compresa fra 40 000 e 99 999 dollari (*linea nera tratteggiata*), fra 20 000 e 39 999 dollari (*linea grigia*) o per meno di 20 000 dollari (*linea colorata*).

	ALIMENTARI E PRODOTTI AFFINI	ANIMALI E PRODOTTI ANIMALI	ALTRI PRODOTTI AGRICOLI	SERVIZI PER AGRICOLTURA SILVICOLTURA E PESCA	DOMANDA FINALE TOTALE: SPESE DI CONSUMO PERSONALI	MOVIMENTO D'INVENTARIO NETTO	ESPORTAZIONI NETTE	ACQUISTI DEL GOVERNO FEDERALE	ACQUISTI DEL GOVERNO DI STATO E LOCALE	FORMAZIONE DEL CAPITALE FISSO PRIVATO TOTALE LORDO	DOMANDA FINALE TOTALE	USCITA TOTALE
PRODOTTI AGRICOLI												
ALIMENTARI E PRODOTTI AFFINI	17 212	4053	—	39	71 970	732	2423	467	734	—	76 325	105 045
ANIMALI E PRODOTTI ANIMALI	23 466	7390	1581	185	2321	698	68	6	23	—	3116	37 504
ALTRI PRODOTTI AGRICOLI	7564	9468	935	559	4161	118	3562	-1106	129	—	6864	30 195
SERVIZI PER AGRICOLTURA, SILVICOLTURA E PESCA	—	610	1341	—	240	—	19	10	45	—	314	2899
COSTRUZIONI E MANUTENZIONE												
NUOVE COSTRUZIONI	535	514	809	33	—	—	22	3290	24 806	68 601	96 719	96 719
MANUTENZIONI E RIPARAZIONI	352	233	358	—	—	—	—	1499	5280	—	6780	30 999
MACCHINARI												
MACCHINE AGRICOLE	1	70	2685	102	43	221	393	26	44	2928	3656	4756
MACCHINE E ATTREZZATURE PER IL TRATTAMENTO DEI MATERIALI	144	—	—	—	—	28	204	78	1	1440	1751	3073
MACCHINE E ATTREZZATURE PER INDUSTRIE SPECIALI	560	—	—	13	32	60	1124	44	16	3538	4813	6353
VEICOLI A MOTORE E ALTRI MEZZI DI TRASPORTO	199	416	515	10	17 621	-304	3068	2451	1252	15 558	39 644	57 799
MACCHINE PER L'UFFICIO, PER IL CALCOLO E LA CONTABILITÀ	92	2	1	3	111	152	1578	648	219	4195	6902	9297
MACCHINE PER LE INDUSTRIE CHE FORNISCONO I SERVIZI	93	18	2	2	548	176	512	92	170	2087	3585	6895
MACCHINE, ATTREZZATURE E FORNITURE ELETTRICHE VARIE	7	15	45	—	791	87	228	128	43	268	1544	3945
ATTREZZATURE E STRUMENTI PROFESSIONALI, SCIENTIFICI, DI CONTROLLO, OTTICI, FOTOGRAFICI	89	—	3	6	1845	194	1180	1207	481	2530	7437	12 993
FERTILIZZANTI E PRODOTTI CHIMICI												
ESTRAZIONE DI MINERALI PER PRODOTTI CHIMICI E FERTILIZZANTI	4	—	10	—	3	10	114	—	88	—	213	924
PRODOTTI CHIMICI COMUNI E SELEZIONATI	458	92	2274	17	601	282	2294	1606	234	—	5017	26 245
ENERGIA												
RAFFINAZIONE DEL PETROLIO E INDUSTRIE AFFINI	250	192	942	5	12 271	353	950	963	463	—	15 000	31 765
ELETTRICITÀ, GAS, ACQUA E SERVIZI SANITARI	740	113	247	2	17 676	—	84	449	2571	—	20 781	47 871
IMBALLAGGI E CONTENITORI												
TESSUTI VARI E RIVESTIMENTI PER PAVIMENTI	20	11	29	45	1814	11	98	19	1	123	2066	5573
PRODOTTI TESSILI CONFEZIONATI VARI	90	*	45	4	2497	117	72	299	32	—	3017	5034
MATERIALI PLASTICI E SINTETICI	90	—	—	—	21	84	834	58	1	—	998	10 158
PRODOTTI VARI DI GOMMA E PLASTICA	793	45	188	*	3172	329	416	303	275	29	4523	17 213
VETRO E PRODOTTI DERIVATI	1329	6	—	—	443	100	189	18	82	—	832	4768
CONTENITORI METALLICI	2645	19	12	—	—	124	15	11	—	11	161	4490
PRODOTTI DI LEGNO (CONTENITORI ESCLUSI)	12	4	4	—	401	163	612	29	5	8	1217	15 330
CONTENITORI DI LEGNO	96	—	80	8	—	2	3	22	—	—	26	456
CARTA E PRODOTTI AFFINI (ESCLUSI CONTENITORI E SCATOLE)	950	17	1	*	1907	179	1013	115	283	—	3498	19 769
CONTENITORI E SCATOLE DI CARTONE	1916	2	3	117	87	40	27	32	29	—	215	7051
SERVIZI												
LAVORI D'UFFICIO	72	1	1	*	—	—	—	174	442	—	616	3266
STAMPA E PUBBLICAZIONI	579	9	14	*	5113	113	289	213	1134	—	6862	26 002
TRASPORTI E MAGAZZINAGGIO	3243	874	597	31	14 015	289	4987	2960	1419	967	24 636	65 679
COMUNICAZIONI, ESCLUSE LE TRASMISSIONI RADIO	374	96	85	—	10 400	—	320	665	752	1655	13 791	25 645
COMMERCIO ALL'INGROSSO E AL MINUTO	4347	1731	2666	76	140 630	516	2984	1108	727	7808	153 773	207 109
FINANZA E ASSICURAZIONI	494	379	432	3	31 359	—	169	57	621	16	32 221	65 495
BENI IMMOBILI E AFFITTI	908	581	2402	80	89 935	—	811	337	1052	2567	94 701	143 163
ALBERGHI E ALLOGGI, SERVIZI DEL PERSONALE E RIPARAZIONI (ESCLUSE LE RIPARAZIONI DI AUTOVETTURE)	164	6	—	—	17 741	—	8	568	185	—	18 501	23 636
SERVIZI COMMERCIALI	3752	95	1385	*	6291	—	485	2491	2391	—	11 658	68 991
RIPARAZIONI E SERVIZI AUTOMOBILISTICI	227	155	159	1	10 248	—	—	49	240	—	10 536	18 443
VIAGGI COMMERCIALI, SPESE DI RAPPRESENTANZA	414	32	44	13	—	—	—	—	—	—	—	13 324
VALORE AGGIUNTO	27 650	10 772	14 311	1700	—	—	—	—	—	—	—	973 114

Questo bilancio delle entrate e delle uscite rappresenta i principali settori economici con cui l'agricoltura americana ha interagito nel 1970. I valori numerici sono in milioni di dollari espressi sulla base del corso del dollaro nel 1967. Le entrate nell'agricoltura, ossia le varie risorse fornite all'agricoltura dall'industria, sono indicate nelle colonne verticali. Le uscite dall'agricoltura, ossia la produzione fornita dall'agricoltura ai restanti settori dell'economia, sono indicate nelle righe orizzontali. Quando il numero è sostituito da un trattino (—), ciò significa che non c'è stata alcuna transazione; un asterisco (*), invece, indica un giro d'affari inferiore al mezzo milione di dollari. Questa tabella è stata compilata con la collaborazione di Anne P. Carter della Brandeis University.

favorevole per gli agricoltori che stanno partendo da zero. A causa dell'inflazione in generale e dell'aumento del valore della terra in particolare, il capitale che si richiede per avviare una nuova fattoria è ora molto grande. Poiché, inoltre, gli agricoltori affermati stanno investendo i crescenti profitti pe ampliare le loro tenute, gli agricoltori che stanno iniziando la loro attività o quelli che dispongono solo di piccoli capitali trovano difficoltà a mettersi in una posizione concorrenziale. Ci si può attendere perciò di assistere a una tendenza crescente verso aziende agricole commerciali più vaste e a una diminuzione in numero di quelle di dimensioni minori. È prevedibile inoltre che una percentuale abbastanza elevata dei vecchi agricoltori si ritirerà ben presto dall'attività lasciando le aziende ai figli, i quali saranno in genere più istruiti e avranno migliori capacità organizzative rispetto alla generazione precedente.

Le grandi risorse delle aziende agricole già consolidate, l'aumento delle loro dimensioni e l'intensa competizione in corso fra loro costituiscono uno stimolo alla rapida adozione di nuovi e promettenti sviluppi tecnologici. È perciò probabile che, nonostante gli alti costi dell'energia e dei prodotti chimici e le crescenti limitazioni ambientali, l'agricoltura americana compia nei prossimi anni un grande balzo avanti tecnologico. Un tale progresso, associato al passaggio di una maggiore quantità di terreni dalla pastorizia e dalle foreste alle coltivazioni, potrebbe significare un ulteriore aumento della produttività dell'agricoltura americana negli anni a venire.

Il futuro dell'agricoltura americana dipenderà, oltre che dalla sua capacità produttiva, da numerosi altri fattori. I due più importanti saranno la misura in cui le attuali condizioni internazionali continueranno a operare e la presenza o assenza di interventi governativi in grado di incidere sulla produzione o attraverso futuri programmi di controllo dell'offerta o attraverso limitazioni ambientali all'uso di fertilizzanti, di insetticidi e all'erosione del suolo.

È probabile che la rapida ascesa nella domanda mondiale di esportazioni di frumento americano a partire dal 1972 abbia avuto elementi sia transitori sia permanenti. Le sfavorevoli condizioni meteorologiche in URSS e la scarsa pesca di acciughe in Perù sono elementi transitori, il cui effetto è stato reso più intenso dalla doppia svalutazione del dollaro all'inizio degli anni settanta. Gli elementi permanenti sono fattori come la continua tendenza all'aumento della popolazione mondiale e del reddito pro capite e la tendenza a un maggior consumo di carne nei paesi in via di sviluppo. Tali tendenze a lungo termine hanno un andamento piuttosto uniforme; a differenza degli elementi transitori, non determineranno salti quantitativi nella domanda mondiale di cereali.

Nel mondo ci sono ovviamente molte persone affamate che mangerebbero di più se avessero un reddito più elevato o se ricevessero cibo gratuitamente. Per il momento, però, non c'è nessuna prospettiva che queste cose si realizzino. Così la domanda nei confronti dei cereali prodotti dagli Stati Uniti e dagli altri paesi produttori si intensificherà parallelamente alla crescita sia della popolazione sia del reddito dei paesi in via di sviluppo.

L'URSS e altri paesi si stanno occupando della costituzione di riserve di cereali per proteggere i loro consumatori da oscillazioni eccessive nei prezzi dei generi alimentari. Finché però non saranno state create strutture veramente efficaci per la formazione di scorte di cereali, o a meno che gli Stati Uniti stessi non costituiscano grandi riserve, l'agricoltura americana può risentire di violente oscillazioni nei prezzi mondiali, con oscillazioni altrettanto grandi nei livelli delle esportazioni e dei redditi.

Tale instabilità non è però inevitabile. Se le organizzazioni internazionali o una singola organizzazione mondiale potessero fondare istituzioni in grado di mettere a disposizione della parte più povera della popolazione mondiale le eccedenze della produzione americana, e se questo sforzo fosse economicamente vantaggioso per gli agricoltori americani, gli Stati Uniti potrebbero aumentare la loro produzione e le loro esportazioni agricole a un livello superiore a quello della produzione e delle esportazioni degli anni settanta. Gli Stati Uniti hanno una riserva considerevole di terre che potrebbero essere coltivate se questa operazione potesse fornire un reddito. Secondo i rilevamenti più recenti, nel 1969 la nazione americana possedeva 170 milioni di ettari di terreni agricoli, dei quali solo 135 milioni erano coltivati. La parte restante era adibita a pascolo o restava incolta. Gli Stati Uniti hanno inoltre altri 107 milioni di ettari di foresta, di pascolo, di terreni montuosi, e di terreni paludosi, una parte dei quali, potrebbe essere convertita in terreni agricoli.

Se ora venissero messi a coltura anche i terreni agricoli non sfruttati, se l'acqua disponibile fosse utilizzata in modo efficiente e se venissero adottate tutte le nuove tecnologie già sperimentate, nel 1985 gli Stati Uniti potrebbero far fronte a tutta la domanda interna e inoltre aumentare le proprie esportazioni di cereali del 183 per cento rispetto al livello medio record del periodo compreso fra il 1972 e il 1974. Le esportazioni di granoturco, in particolare, potrebbero aumentare del 228 per cento, le esportazioni di frumento del 57 per cento e le esportazioni di soia del 363 per cento. Inoltre, se una parte dei 107 milioni di ettari di potenziale terreno agricolo fossero immessi nella produzione, nel 2000 le esportazioni potrebbero essere ancora maggiori.

Le esportazioni di cereali potrebbero aumentare anche senza mettere a coltura altre terre. Se i consumatori americani sostituissero nella loro dieta le proteine derivate dalla carne con quelle derivate dalla soia, anche solo nella misura del 25 per cento, ci sarebbe bisogno di una quantità molto minore di cereali per nutrire il bestiame; nel 1985 gli Stati Uniti potrebbero esportare l'80 per cento in più di cereali per mangimi, di soia e di frumento rispetto alle esportazioni del periodo compreso fra il 1971 e il 1974. Alternativamente, se i consumatori americani riducessero del 25 per cento il loro consumo totale di carne, gli Stati Uniti potrebbero esportare un 103 per cento in più di cereali. Oppure se si insilasse il 25 per cento dei cereali che vengono utilizzati per nutrire il bestiame, le esportazioni statunitensi di cereali potrebbero aumentare del 110 per cento. E se si adottassero congiuntamente tutt'e tre queste misure? In tal caso, nel 1985 le esportazioni americane di cereali potrebbero aumentare del 135 per cento.

Quanto abbiamo visto finora suggerisce, a mio giudizio, che i problemi dell'alimentazione mondiale possono essere controllati adeguatamente operando in due direzioni principali. Innanzitutto, come sottolineano altri autori in questo fascicolo, i governi dei paesi poveri devono incoraggiare attivamente lo sviluppo della loro agricoltura. In secondo luogo, essendo improbabile che, nonostante tale sviluppo, essi siano in grado di provvedere al loro fabbisogno per qualche tempo a venire, si impone la creazione di istituzioni e mercati mondiali allo scopo di assorbire una parte elevata della produzione dei paesi esportatori di prodotti alimentari a prezzi che siano vantaggiosi per i loro agricoltori.

Oggi i costi in denaro dell'agricoltura sono aumentati a tal punto che i prezzi dei prodotti agricoli sono raddoppiati o più che raddoppiati rispetto ai livelli del 1970. È improbabile che gli agricoltori americani affrontino il rischio di accrescere la loro produzione a livelli elevati a meno che non siano garantiti loro prezzi di base sicuri. Finché non saranno adottate tali garanzie e finché non saranno operanti provvedimenti politici a livello mondiale per la costituzione di riserve di cereali contro i cattivi raccolti, è probabile che l'instabilità dei prezzi mondiali dei cereali sconsigli agli agricoltori americani di mettere a coltura altri terreni e di aumentare la produzione.

L'agricoltura in Messico

La rivoluzione verde ha rappresentato un successo per le grosse aziende agricole, ma è ora necessario estendere i suoi vantaggi anche ai piccoli coltivatori dei settori agricoli tradizionali

di Edwin J. Wellhausen

Il Messico merita una speciale collocazione intermedia in qualsiasi resoconto comparato a livello internazionale dello sviluppo agricolo. Più o meno negli ultimi trent'anni, questo paese ha compiuto grandi passi in avanti nello sviluppo della sua capacità di produrre cibo, tuttavia rimangono ancora molti gravi problemi. Compiuta una rivoluzione agricola, esso si trova dolorosamente nella necessità di farne un'altra. È proprio questo paradosso che rende la storia dello sviluppo agricolo in Messico un caso particolarmente istruttivo da includere in una rassegna sull'agricoltura mondiale.

Il governo messicano ha una triplice politica agraria: 1) produrre sufficienti alimenti e fibre per soddisfare i fabbisogni di una popolazione crescente; 2) produrre raccolti che possano essere esportati per sostenere gli scambi con l'estero; 3) aumentare il reddito e il benessere generale delle popolazioni rurali. In che modo si è cercato negli anni recenti di soddisfare le esigenze di una simile politica?

Negli anni trenta e agli inizi degli anni quaranta, la produzione alimentare nel Messico era diventata stagnante. Nel 1945, il paese importava tra il 15 e il 20 per cento del proprio fabbisogno di cereali, prevalentemente granoturco e frumento, per cercare di sopperire alle richieste alimentari dei suoi 22 milioni di abitanti. Questa situazione si modificò drasticamente nei due decenni successivi, quando si verificò una sorprendente crescita nella produzione dei cereali di base per l'alimentazione umana. Nel 1960 il deficit alimentare non esisteva più. Nel 1963 la produzione di alimenti superò la domanda interna e, nei cinque anni successivi, vennero esportate considerevoli quantità di frumento e di granoturco.

Quindi, alla fine degli anni sessanta, questa crescita dinamica cominciò a perdere slancio e, all'inizio degli anni settanta, il Messico stava di nuovo importando tra il 15 e il 20 per cento dei cereali di base per l'alimentazione. Perché? Quali sono i problemi, quali le prospettive per portare di nuovo la produzione alimentare in equilibrio con la crescita demografica?

I vent'anni dal 1950 al 1970 furono in Messico gli anni del *boom* per la produzione alimentare. Malgrado il fatto che, nel 1965, la popolazione avesse raggiunto i 43 milioni, il paese era riuscito non solo a cancellare il proprio deficit alimentare, ma anche a produrre delle eccedenze da esportare. Secondo dati raccolti dalla Banca Nazionale del Messico, nel periodo dal 1964 al 1969, vennero esportate 5,4 milioni di tonnellate di granoturco, 1,8 milioni di tonnellate di frumento e 339 000 tonnellate di fagioli. (La maggior parte delle esportazioni era in perdita, dato che, a quell'epoca, i prezzi mondiali erano più bassi di quelli sostenuti dal governo.)

Tra il 1950 e il 1970 la produzione di frumento aumentò dalle 300 000 tonnellate l'anno ai 2,6 milioni di tonnellate, cioè più di 8 volte nel breve spazio di vent'anni. Il rendimento per unità di superficie si quadruplicò, passando da 750 chilogrammi per ettaro a 3200. Per un certo tempo il governo messicano limitò anche la superficie coltivata a frumento, in modo da evitare il costituirsi di scomode eccedenze.

Allo stesso modo, ma in maniera meno spettacolare, la produzione di granoturco crebbe di più del 250 per cento nello stesso periodo: dai 3,5 milioni di tonnellate in una buona annata piovosa alla fine degli anni quaranta a circa 9 milioni nel 1968. Il rendimento medio per ettaro salì da 700 a 1300 chilogrammi. Il granoturco è la coltura alimentare più importante del Messico: all'incirca la metà del territorio coltivato ogni anno produce granoturco che, per la maggior parte, cresce in zone non irrigate.

Nel periodo dal 1950 al 1970 il raccolto annuale di fagioli praticamente si raddoppiò, passando da circa 530 000 a 925 000 tonnellate. Il granoturco e i fagioli, consumati nella proporzione di circa 3 a 1, costituiscono la dieta principale della popolazione rurale e urbana. Nella alimentazione, buona parte delle proteine è fornita dai fagioli.

La produzione di sorgo nel 1950 era di circa 200 000 tonnellate. Nel 1970 era salita a più di 2,7 milioni di tonnellate l'anno, con un incremento di 14 volte. Nel Messico questo cereale viene in massima parte utilizzato per nutrire i maiali e il pollame. Di conseguenza la produzione di carne di maiale, di uova e di polli crebbe sorprendentemente, così da tenere il passo con la domanda della popolazione urbana.

Nel 1950, la soia era generalmente sconosciuta in Messico, mentre nel 1970 la sua produzione era salita a circa 275 000 tonnellate dando così un contributo significativo alla produzione di olî e di proteine vegetali.

Nei circoli internazionali, a queste realizzazioni straordinarie è stato dato il nome di «rivoluzione verde». Pur essendovi coinvolti molti fattori economici, politici e sociali, il progresso fu dovuto in larga parte a una combinazione di tre fattori tecnologici: 1) lo sviluppo di nuove varietà vegetali ad alta produttività, largamente adattabili, molto reattive nei riguardi dei fertilizzanti e resistenti alle malattie; 2) lo sviluppo di pratiche agricole più raffinate, comprendenti una miglior gestione della terra, una adeguata concimazione e un più efficace controllo delle erbe infestanti e degli insetti parassiti, che nel loro insieme hanno permesso alle varietà migliorate di realizzare più

L'irrigazione su vasta scala ha trasformato l'arida pianura costiera nordoccidentale del Messico in una delle regioni agricole più produttive del paese. L'immagine della pagina a fronte a falsi colori è stata ottenuta, con dati relativi all'11 gennaio 1973, dal sistema a scansione multispettrale a bordo del satellite LANDSAT 1 e mostra una porzione di questa striscia diventata recentemente fertile, vicino alla frontiera tra gli stati di Sonora e di Sinaloa. In questa regione si ottiene una varietà di prodotti agricoli alimentari con un regime di rotazione continua delle colture. Il frumento viene coltivato prevalentemente durante i mesi invernali, freschi e asciutti.

pienamente il loro elevato potenziale produttivo; 3) un rapporto favorevole tra il costo dei fertilizzanti e di altri mezzi di produzione e ciò che l'agricoltore ricavava dalla vendita del prodotto.

La prima fase della rivoluzione agraria in Messico ebbe inizio nel 1943 con il varo di un programma di miglioramento agricolo in cooperazione tra il Ministero dell'agricoltura messicano e la Rockefeller Foundation. Il traguardo stabilito dal programma era l'aumento della produzione delle colture alimentari di base attraverso il miglioramento genetico delle varietà vegetali, il miglioramento del suolo e il controllo degli insetti infestanti e delle malattie delle piante. Contemporaneamente si mirava ad addestrare dei giovani, uomini e donne, nella ricerca agricola e nello sviluppo di tecniche per promuovere la rapida adozione della nuova tecnologia. Il programma congiunto fu realizzato in un periodo di 16 anni (dal 1943 al 1959) valendosi di un gruppo comprendente, negli anni di massima attività, 100 scienziati messicani e di 20 di altri paesi, esperti in varie discipline. Un progresso straordinario fu compiuto in direzione di ambedue gli obiettivi.

In un quarto di secolo, dal 1945 al 1970, la popolazione del Messico è cresciuta del 220 per cento. Nello stesso periodo la produzione di granoturco è aumentata del 250 per cento. Una parte di questo incremento è da attribuirsi a un aumento dell'area coltivata a granoturco, ma buona parte deriva da un maggior impiego di sementi migliorate e di fertilizzanti chimici. In situazioni favorevoli alcune delle varietà migliorate diedero una resa fino al 100 per cento superiore a quella dei tipi non migliorati.

Dopo un'estesa sperimentazione, si trovò che l'azoto era il principale fattore limitante nella maggior parte dei suoli. Negli anni cinquanta, un ettaro di terreno che produceva normalmente 1000 chilogrammi di granoturco, poteva essere facilmente portato a una produzione di almeno 4000 chilogrammi dello stesso cereale attraverso la somministrazione di 100 chilogrammi di azoto (sotto forma di vari nitrati), l'uso di sementi migliorate e un'adeguata irrigazione. Ciò significa un rapporto di 30 chilogrammi di granoturco per ogni chilogrammo di azoto. A quell'epoca 1 chilogrammo di azoto puro costava circa 4 pesos e 30 chilogrammi di granoturco valevano 24 pesos. Così un agricoltore poteva realizzare un profitto pari a sei volte il danaro investito in azoto (senza tener conto di altre spese, come i costi per un miglior controllo delle erbe infestanti e le spese addizionali per il maggior raccolto). Nel periodo immediatamente antecedente agli anni cinquanta, buona parte della terra coltivata doveva essere periodicamente abbandonata per farvi crescere erbe selvatiche, tra cui leguminose, in quanto la fertilità era diminuita al punto tale da rendere economicamente svantaggioso lo sfruttamento. Una simile pratica fu subito abbandonata laddove furono disponibili denaro o crediti per comperare fertilizzanti chimici. Questo fattore da solo spiega buona parte dell'aumento di terreno coltivato a granoturco e a fagioli negli anni del grande sviluppo agricolo.

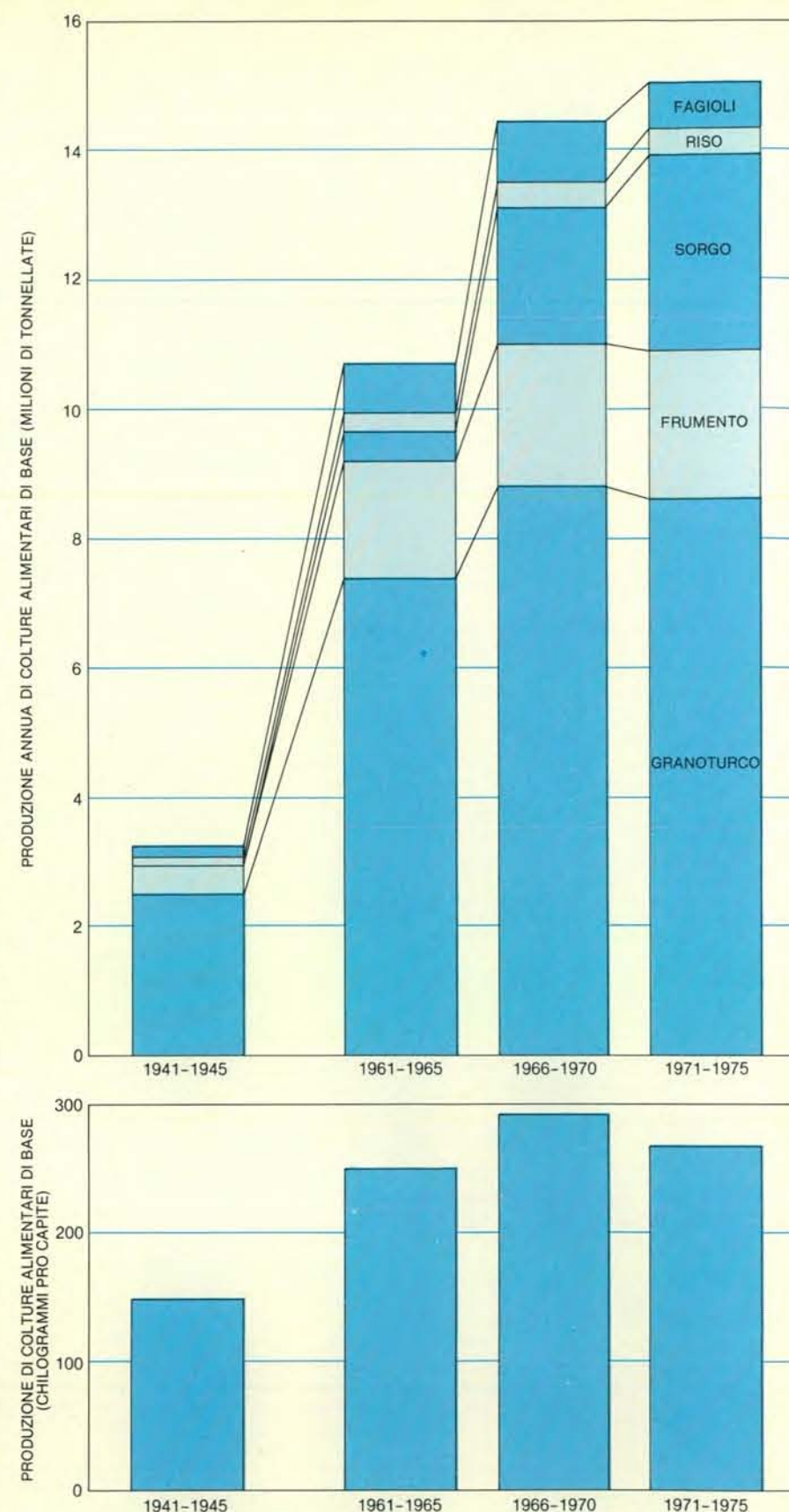
Il frumento viene coltivato in Messico, in regime irriguo, nei mesi invernali freschi e asciutti. Le varietà esistenti negli anni quaranta, e anche prima di allora, erano esposte alla ruggine nera del grano e, ogni anno, interi campi venivano completamente distrutti o gravemente danneggiati dalla malattia. Quindi gli agricoltori non volevano rischiare molto denaro, se pure ne investivano, per acquistare i fertilizzanti. La situazione si modificò rapidamente con l'introduzione di varietà resistenti alla ruggine, che resero estremamente vantaggiosa la somministrazione di concime. Le prime varietà resistenti furono diffuse agli inizi degli anni cinquanta, ma il forte aumento della produzione si ebbe agli inizi degli anni sessanta con la diffusione di varietà nane resistenti alla ruggine. Esse rispondevano in maniera più efficiente alle più forti somministrazioni di azoto e di fosforo, senza «allettamento» (cioè senza diventare troppo pesanti alla sommità del culmo e quindi ripiegarsi). I rendimenti per unità di superficie cominciarono a crescere quando gli agricoltori aumentarono l'impiego di fertilizzanti.

La topografia montuosa del Messico, combinata con la distribuzione ineguale delle precipitazioni atmosferiche, limita il territorio potenzialmente arabile a circa il 15 per cento dell'area totale del paese. Solo il 9 per cento circa del totale viene coltivato oggi. Più della metà dell'attuale area coltivata è situata negli altopiani centrali (*area a strisce*), dove predominano le terre non irrigate. Aree irrigate, estremamente produttive, con diversi sistemi di rotazione continua, includono oltre alla pianura costiera nordoccidentale porzioni degli stati di Coahuila, Chihuahua, Baja California e Tamaulipas (*aree in grigio chiaro*). Un'altra regione, in cui si pratica la rotazione continua ma che non è irrigata, comprende la parte orientale di San Luis Potosí e la parte settentrionale di Veracruz (*area in grigio scuro*). La maggior parte dell'area potenzialmente coltivabile non ancora sfruttata è situata nelle zone tropicali lungo la costa del Golfo del Messico.

Grazie all'applicazione della nuova tecnologia anche le rese di altre colture alimentari, come i fagioli, i pomodori, le patate e il sorgo, salirono notevolmente. Nel 1959 la FAO valutò che la produzione agricola in Messico era aumentata in media del 7 per cento l'anno nel decennio che si concludeva appunto in quell'anno. Questo tasso di sviluppo era considerevolmente più elevato di quello raggiunto da qualsiasi altro paese dell'America Latina.

Un importante fattore in queste realizzazioni è stato l'intenso addestramento del personale per il servizio interno. Circa 750 giovani, uomini e donne, hanno partecipato direttamente alle fasi del programma, in laboratorio e sul campo, per i 16 anni della sua durata. Buona parte del lavoro di ricerca è stata effettuata sul campo in collaborazione con gli agricoltori più progrediti. L'addestramento per il servizio interno non è stato limitato ai messicani, ma aperto anche a cittadini di altri paesi dell'America Latina, i quali sono stati utili in seguito per sviluppare programmi di miglioramento agricolo nei loro paesi di provenienza.

Nel 1952 molti messicani che avevano seguito i corsi di addestramento furono avviati alla campagna di produzione, indetta dal Ministro dell'agricoltura, per assistere gli agricoltori nell'applicazione del pacchetto di nuove tecnologie che essi avevano contribuito a sviluppare. Coloro che dimostrarono un'attitudine per la ricerca e per la sua applicazione allo sviluppo agricolo ebbero la possibilità di andare all'estero e di studiare per ottenere un titolo di studio di grado elevato in una delle principali facoltà di agraria del mondo. Nel 1959 il Messico inaugurò a Chapingo, vicino a Città del Messico, la propria scuola di specializzazione di agricoltura per laureati. Questa scuola, dotata di personale ben addestrato e con esperienza sul campo, ha continuato a guadagnare prestigio in tutta l'America Latina.

Alla fine degli anni sessanta, gli effetti di questa rivoluzione agricola basata sulla tecnologia sembravano essersi esauriti. La produzione agricola totale cominciò a livellarsi e di nuovo il tasso di

La produzione delle colture alimentari di base in Messico è aumentata in maniera marcata nei due decenni dal 1945 al 1965, dopodiché la produzione alimentare complessiva ha cominciato a livellarsi, essendosi apparentemente esaurito l'impatto della rivoluzione agraria basata sulla nuova tecnologia (*istogramma in alto*). Dal 1970 la produzione pro capite è diminuita, in realtà, un poco (*istogramma in basso*), avendo continuato la popolazione (oggi di 62 milioni di abitanti) a crescere con un tasso annuo di circa il 3,5 per cento. Secondo l'autore si può nuovamente realizzare in Messico un elevato tasso di sviluppo della produzione agricola (superiore al tasso d'incremento demografico), promuovendo l'adozione delle tecniche agricole raccomandate.

incremento demografico fu eccedente sul tasso di sviluppo agricolo. Per esempio, l'aumento nella produzione di granoturco cominciò a bloccarsi la prima volta, nel 1965, a circa 9 milioni di tonnellate l'anno. Nel 1975 la richiesta di questo cereale raggiunse approssimativamente i 10,5 milioni di tonnellate l'anno, creando così un deficit di 1,5 milioni di tonnellate, che ammonta a circa il 17 per cento, dimodoché in termini di domanda e offerta la situazione divenne grosso modo quella che era nel 1945. Fortunatamente la domanda e l'offerta per altre colture alimentari, per esempio fagioli, riso, ortaggi vari e sorgo, sono pressoché in equilibrio. Il deficit attuale più importante è quello del granoturco. Di conseguenza, a partire dal 1970, l'importazione di cereali è molto aumentata.

La situazione attuale può essere attribuita in parte a spostamenti nella politica del governo, relativi alla produzione cerealicola e ai rapporti costo/prezzo, ma sembra che la situazione sia più complicata. In base a un'attenta analisi, è evidente che la rivoluzione nella produzione ha avuto successo in primo luogo nelle aziende agrarie più grosse e commercialmente più valide, che potevano più facilmente permettersi i fertilizzanti e altri mezzi di produzione. Inoltre, come ci si poteva aspettare, le nuove tecnologie prosperarono meglio in quelle aree in cui i rischi di produzione erano minimi e le prospettive di profitto massime. Gli agricoltori non beneficiarono quindi in eguale misura dei progressi tecnologici.

Per esempio, il frumento viene prodotto in gran parte dagli agricoltori più progrediti nelle aree irrigate del versante pacifico nordoccidentale del Messico e nella parte occidentale degli altopiani centrali, dove durante la stagione invernale asciutta è disponibile acqua per l'irrigazione; invece il granoturco è stato relegato soprattutto nelle aree non irrigate sfruttate dalle aziende agrarie più piccole e meno progredite, dove le precipitazioni sono spesso saltuarie. Le nuove tecniche per la produzione di questo cereale sono state adottate principalmente dalle aziende agrarie più progredite, in quelle aree dove le piogge sono, di solito, ben distribuite durante la stagione piovosa. Il sorgo, che si considera solitamente una coltura per zone aride, con una piovosità estremamente variabile, viene coltivato soprattutto dalle aziende più sviluppate, nelle aree con migliore piovosità e spesso in regime irriguo.

La superficie totale del territorio messicano è di circa 195 milioni di ettari, grosso modo un quarto di quello degli Stati Uniti. Secondo le stime esistenti, circa 30 milioni di ettari, ovvero il 15 per cento dell'area totale, sono potenzialmente arabili, ma solo 16,776 milioni di ettari, pari all'8,6 per cento, sono oggi coltivati, cioè solo poco di più dell'area totale coltivata nello Iowa. Il resto del territorio messicano è o troppo arido, o troppo umido o troppo montuoso per essere coltivato. La maggior parte del terreno potenzialmente arabile non ancora coltivato si trova nelle zone tropicali a bassa quota, ma in buona parte è malamente drenato, permanentemente allagato, o periodicamente inondato, ed è soggetto a rischi che rendono difficoltoso l'insediamento umano. L'investimento necessario per poterlo coltivare sarebbe fortissimo.

Più della metà del territorio coltivato oggi si trova nelle regioni non irrigate degli altopiani meridionali. In questa regione la piovosità annua varia ampiamente e la maggior parte delle precipitazioni si raggruppa in un periodo di 4 mesi, da luglio a ottobre. Inoltre, durante la stagione piovosa, la pioggia è spesso irregolare. Per circa 1,5 milioni di ettari è possibile avere una irrigazione ausiliaria, ma la maggior parte delle colture è praticata in zone non irrigate. La principale coltura della regione è il granoturco, ma altre colture come il frumento, gli ortaggi (pomodori, in particolare), le fragole e le patate, crescono nei mesi invernali dove vi è l'irrigazione. Gli altopiani centrali costituiscono solo il 15 per cento circa della superficie totale del Messico, ma includono non soltanto la metà del territorio agricolo del paese, ma anche più della metà della popolazione totale.

Una delle aree agricole più produttive del Messico è situata nell'arida pianura costiera nordoccidentale irrigata degli stati di Sonora e di Sinaloa. Questa regione produce considerevoli quantità di frumento, ortaggi, riso, soia, canna da zucchero, cotone, cartamo e sorgo in un sistema rotativo continuo nell'arco di tutto l'anno. Ivi i rendimenti per unità di superficie sono tra i più elevati del mondo.

Aree più piccole, ma ancora molto produttive e irrigate, con analoghi sistemi colturali, sono localizzate negli stati di Coahuila, Chihuahua, Baja California e Tamaulipas. La rotazione delle colture si pratica anche in un'altra area produttiva comprendente lo stato di San Luis Potosí e la parte settentrionale di quello di Veracruz, dove le precipitazioni atmosferiche sono piuttosto ben distribuite durante tutto l'anno. Anche se questa area non è irrigata, produce considerevoli quantità di granoturco, canna da zucchero e frutta tropicale.

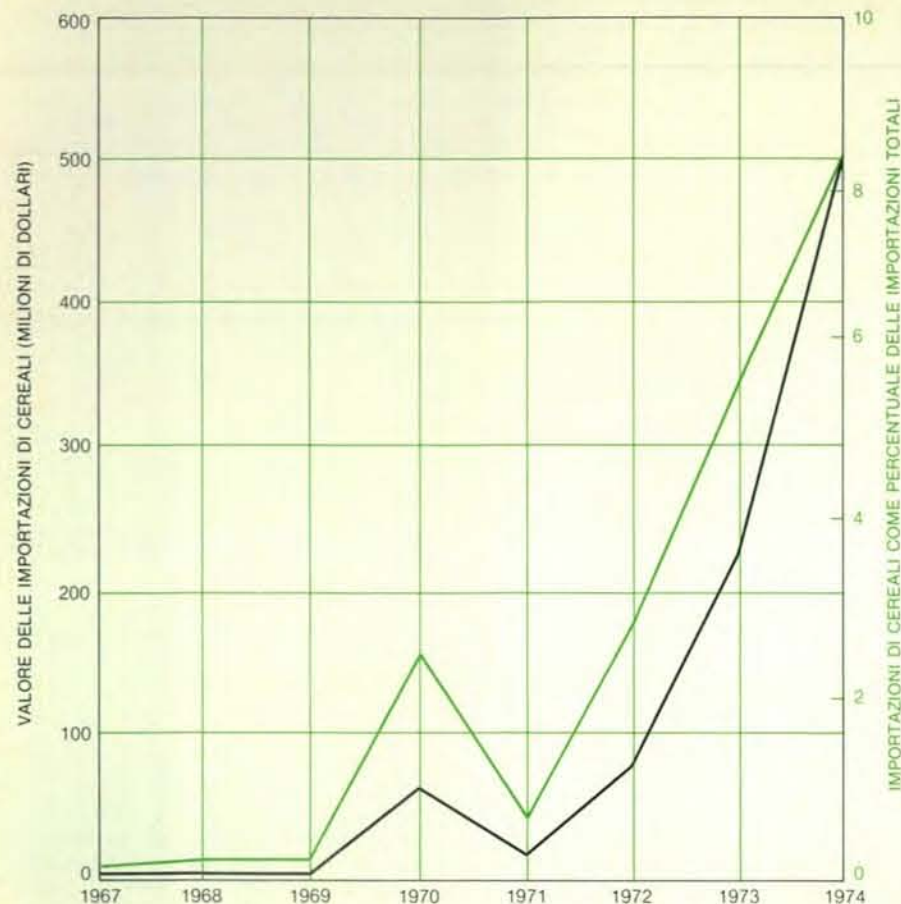
Con poche eccezioni, il rimanente territorio correntemente coltivato è disperso su ripidi pendii, su stretti crinali e in piccoli fondovalle alluvionali in tutte le catene montuose orientali e occidentali e negli altopiani meridionali. In queste aree prevale un'agricoltura tradizionale, semicommerciale e di sussistenza che produce granoturco e fagioli. Nelle montagne orientali e negli altopiani meridionali, fatta eccezione per alcune vallate elevate nello Oaxaca, le precipitazioni sono in genere sufficienti per sei mesi l'anno.

In base a un'analisi effettuata dalla Banca nazionale del Messico, ci sono in questo paese ben 2 milioni e 816 000 aziende agrarie. Di queste il 7,1 per cento viene classificato come moderno, comprendendo quelle aziende in cui gli agricoltori più progrediti e dalla mentalità commerciale applicano in misura più o meno completa il pacchetto di pratiche tecnologiche migliorate; il 40,5 per cento viene classificato come tradizionale, semicommerciale, e comprende aziende in molte delle quali gli agricoltori applicano, almeno parzialmente, le pratiche agricole raccomandate; infine il 52,4 per cento è classificato come poderi di sussistenza, coltivati da agricoltori che comprano o vendono molto poco e producono principalmente granoturco e fagioli per se stessi e per le loro famiglie. Come era prevedibile ci sono sorprendenti differenze tra le tre categorie per le dimensioni medie delle aziende, per la percentuale di terreno irrigato, per il capitale investito e per il reddito lordo medio. Il rapido aumento della produzione agricola negli anni dello sviluppo fu dovuto in primo luogo agli sforzi del settore moderno.

Circa il 50 per cento di tutte le aziende agrarie è localizzato negli altopiani centrali. In questa regione le proprietà hanno un'estensione media di 10,7 ettari, e di questi circa 6 sono adatti per essere sottoposti a coltura. È proprio in quest'area che sono più gravi i problemi del sovraffollamento e dell'agricoltura di sussistenza. Molte delle piccole proprietà

In questo grafico è evidente una recente tendenza al livellamento nella produzione globale, in Messico, delle 25 colture principali. Il grafico sintetizza i dati degli ultimi 15 anni secondo due diversi indici di sviluppo agricolo: la produzione annua media (*curva in nero*) e l'area totale coltivata (*curva in colore*). Le 25 colture sono: granoturco, frumento, riso, sorgo, orzo, fagioli, soia, patate, pomodori, cipolle, aglio, ceci, erba medica, fragole, meloni, angurie, canna da zucchero, cotone, caffè, cacao, tabacco, sesamo, arachidi, lino e cartamo.

Nel periodo tra il 1945 e il 1965, la produzione annua di granoturco in Messico è aumentata con un tasso superiore a quello dell'incremento demografico, stabilizzandosi quindi attorno ai nove milioni di tonnellate l'anno (*curva in nero*). Una parte dell'aumento negli anni del grande sviluppo fu dovuta a una maggiore estensione dell'area coltivata a granoturco (*curva in colore*), ma in prevalenza l'aumento può essere attribuito a un incremento delle rese. Quasi il 98 per cento del granoturco prodotto viene consumato sotto forma di *tortillas*, cioè di focacce.

La produzione annua di frumento è aumentata in modo ancora più spettacolare negli anni di punta dell'agricoltura messicana, con rese per unità di superficie quadruplicatesi tra il 1950 e il 1970. La produzione annua (*in nero*) ottenuta nelle zone irrigate con le nuove varietà nane, resistenti alle malattie, è messa a confronto in questo grafico con il numero di ettari coltivati (*in colore*).

L'importazione di cereali in Messico è molto aumentata negli ultimi anni, in conseguenza del deficit crescente nella produzione di granoturco. Il valore assoluto delle importazioni cerealicole richieste è indicato in dollari (*in nero*) e in percentuale delle importazioni totali (*in colore*).

di questo tipo sono localizzate in zone marginali con terreno poco fertile e con piovosità inadeguata.

Nel paese inteso nel suo complesso, un numero relativamente piccolo di aziende moderne fornisce circa il 45 per cento della produzione agricola commerciale totale su un 20 per cento del territorio coltivato. Per contro, i grossi settori semicommerciali e i settori di sussistenza riuniti forniscono circa il 55 per cento della produzione agricola totale su circa l'80 per cento del territorio coltivato complessivo. Le proprietà appartenenti all'ultimo gruppo operano primariamente in terre non irrigate e la loro produzione è generalmente stagnante. In molte località le precipitazioni sono spesso insufficienti e variabili, eppure si stima che circa tre quarti delle aziende nei settori semicommerciale e di sussistenza siano economicamente vitali e potrebbero aumentare la loro produzione applicando la moderna tecnologia.

In Messico un terzo della superficie totale coltivata è irrigato e fornisce circa il 55 per cento della produzione agricola totale. Anche se molte aree non irrigate potrebbero essere irrigate, l'esecuzione di grandi opere di irrigazione in queste zone non sembra promettente. Praticamente tutte le fonti idriche superficiali e sotterranee sono già utilizzate. L'irrigare altro territorio su grande scala sarebbe estremamente costoso. In alcune regioni irrigate degli altopiani centrali, le carenze d'acqua si fanno sempre più apparìscenti e le falde acquifere si stanno abbassando.

Le aree irrigate non solo sono più produttive, ma hanno anche un enorme vantaggio nel fatto che possono produrre una vasta gamma di raccolti in sistemi di colture multiple, ivi incluse le colture frutticole e orticole, con elevati profitti netti. L'agricoltura delle aree non irrigate è limitata al granoturco, ai fagioli, al sorgo e ai ceci.

L'attuale popolazione del Messico è di circa 62 milioni di unità, con un tasso annuale di crescita di circa il 3,5 per cento. Circa il 40 per cento della popolazione totale, pari a circa 23 milioni, vive o lavora nelle aree rurali. Di essi 5,1 milioni sono sottoccupati. Con l'attuale tasso di crescita demografica, ci si può aspettare che la popolazione rurale aumenti notevolmente e, con essa, il numero dei sottoccupati, molti dei quali andranno a cercare lavoro nelle città. I settori industriale e terziario non sono oggi in alcun modo in grado di offrire un'occupazione per il numero sempre crescente di disoccupati o sottoccupati rurali.

Anche se si sta compiendo un grande sforzo per migliorare l'educazione rurale, i livelli d'istruzione dei gruppi rurali nelle categorie semicommerciale e di sussistenza continuano a essere molto bassi. Sarà più facile trasformare la popolazione che vive di un'agricoltura di sussistenza praticata in regioni marginalmente produttive in manodopera agricola ragionevolmente produttiva che cercare di incorporarla nel mondo industriale. È essenziale che lo stesso settore agricolo offra maggiori opportunità d'impiego.

Il Messico ha milioni di ettari di terreno agrario potenzialmente fertile, di livello ragionevolmente buono, nell'altopiano centrosettentrionale e nelle pianure costiere nordoccidentali. Queste regioni potrebbero produrre milioni di tonnellate di raccolti alimentari in più se fosse disponibile un sufficiente rifornimento d'acqua. In esse la produzione agricola non è possibile senza irrigazione e la maggior parte dell'acqua disponibile viene già utilizzata.

Uno dei problemi fondamentali dell'agricoltura messicana è che la distribuzione delle risorse idriche non coincide con la distribuzione di buoni terreni agricoli. I terreni correntemente coltivati e la popolazione si concentrano nelle zone aride o semiaride del paese. Gli altopiani centrali, per esempio, dove vive circa la metà della popolazione, comprendenti la metà del territorio coltivato, hanno solo il 10 per cento circa delle risorse idriche. Per contro, la regione sudorientale, che ospita solo l'8 per cento della popolazione e comprende pochissimo territorio coltivato, ha il 40 per cento di risorse idriche. Chiaramente l'acqua non è disponibile dove è maggiormente necessaria o dove può dare un maggior profitto.

I prodotti agricoli che il Messico destina all'esportazione sono in primo luogo cotone, canna da zucchero, fragole, pomodori, cipolle, meloni e angurie. Tranne la canna da zucchero, queste colture sono tenute per lo più a regime irriguo durante la stagione asciutta. Fino al 1973 il settore agricolo era responsabile di più della metà dei proventi del Messico ricavati dalle esportazioni. Una combinazione di fattori ha fatto scendere questa proporzione a circa il 33 per cento nel 1974. Una diminuzione delle esportazioni di cotone ha avuto notevoli effetti, ma sta diventando sempre più chiaro che la stagnazione generale nella produzione di colture alimentari fondamentali è stata uno dei principali fattori del declino.

Per il consumo annuale del 1974-1975 sono state importate all'incirca 4 milioni di tonnellate di cereali (prevalentemente granoturco, ma anche frumento e sorgo). Questo grosso volume di importazioni è stato necessario in parte per le sfavorevoli condizioni meteorologiche e per il quasi completo esaurimento delle riserve. Un aumento dei prezzi sul mercato mondiale ha fatto salire i costi di queste importazioni del 103 per cento rispetto alle annate precedenti. Nel contempo i prezzi delle merci messicane esportate sono aumentati solo del 12 per cento. Di fronte a questa situazione, il governo messicano sta facendo di nuovo un grosso sforzo per accelerare la produzione di colture alimentari di base, anche a spese dei prodotti agrari d'esportazione. Le importazioni per il consumo dell'anno 1975-1976 sono calcolate a circa 1,7 milioni di tonnellate, di nuovo prevalentemente costituite da granoturco.

Le manipolazioni dei prezzi sono una arma potente per aumentare o limitare la produzione di certe colture in Messico. Per stimolare la produzione delle colture alimentari di base e promuovere l'autosufficienza, nel 1974 sono stati fortemente aumentati i prezzi garantiti dal governo. Questa politica ha determinato un sorprendente cambiamento dal 1968 al 1972, periodo in cui i prezzi sono aumentati in media a un tasso annuo del 3 per cento soltanto. I prezzi garantiti del granoturco, del frumento e del sorgo sono stati aumentati ancora nel 1975.

Anche se la maggior parte degli agricoltori non riceve i prezzi garantiti dal governo, quelli che ricevono sono influenzati da essi e sono essi pure aumentati notevolmente. I costi dei mezzi di produzione sono essi pure aumentati di molto, ma non quanto il prezzo di mercato dei cereali. Il costo dei fertilizzanti, uno degli elementi più importanti del pacchetto di tecniche agricole raccomandato, è aumentato solo del 12 per cento. Oggi il rapporto tra costi dei mezzi di produzione e prezzo del prodotto è estremamente favorevole per le colture alimentari di base. Ai prezzi correnti bastano soltanto 3 chilogrammi di granoturco o di frumento per comprare 1 chilogrammo di azoto. Ogni chilogrammo di azoto somministrato, costando circa 4,5 pesos, produrrà, secondo caute valutazioni, una media di 10 chilogrammi di cereale valutati 15 pesos. In aree irrigate o non irrigate, dove però le precipitazioni siano ben distribuite, 1 chilogrammo di azoto produrrà fino a 30 chilogrammi di cereale. Oggi la produzione di colture alimentari può essere molto vantaggiosa, anche con aumenti significativi nei costi della manodopera, del combustibile, dei macchinari agricoli e dei trasporti.

Il consumo di fertilizzanti nel Messico è aumentato, negli anni sessanta, a un tasso del 12 per cento l'anno. In quel decennio il consumo di azoto si è più che triplicato: dalle 118 000 tonnellate del 1960 si è passati alle 380 000 tonnellate del 1970. Parimenti, è aumentato il consumo di fosforo (sotto forma di fosfati): dalle 43 000 tonnellate del 1960 alle 115 000 tonnellate del 1970, un aumento del 270 per cento. Questa netta tendenza verso l'alto è continuata: nel 1974, sono state utilizzate 553 000 tonnellate di azoto e 183 000 tonnellate di fosforo. Dato che il Messico è autosufficiente per il petrolio, la maggior parte dell'azoto viene prodotto localmente.

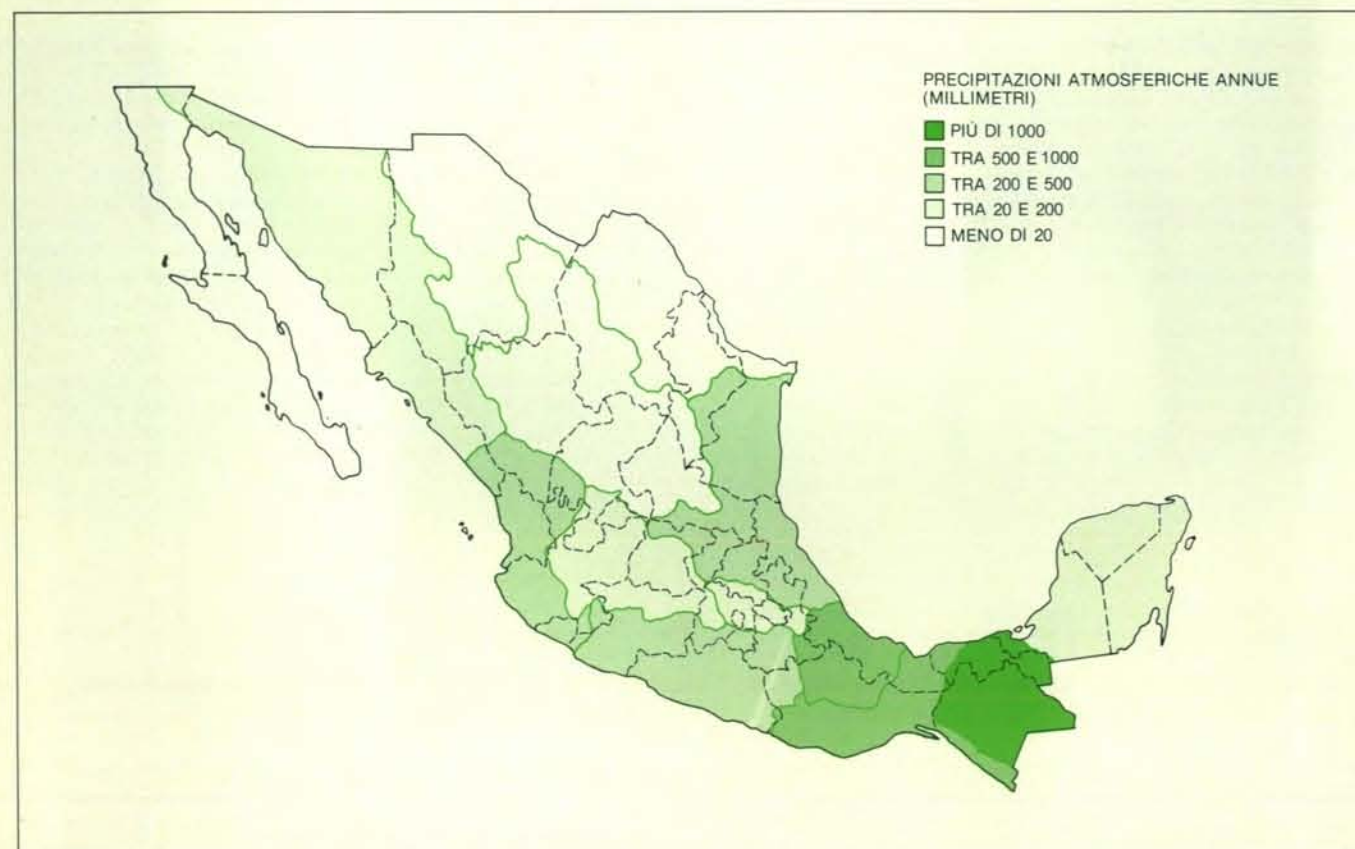
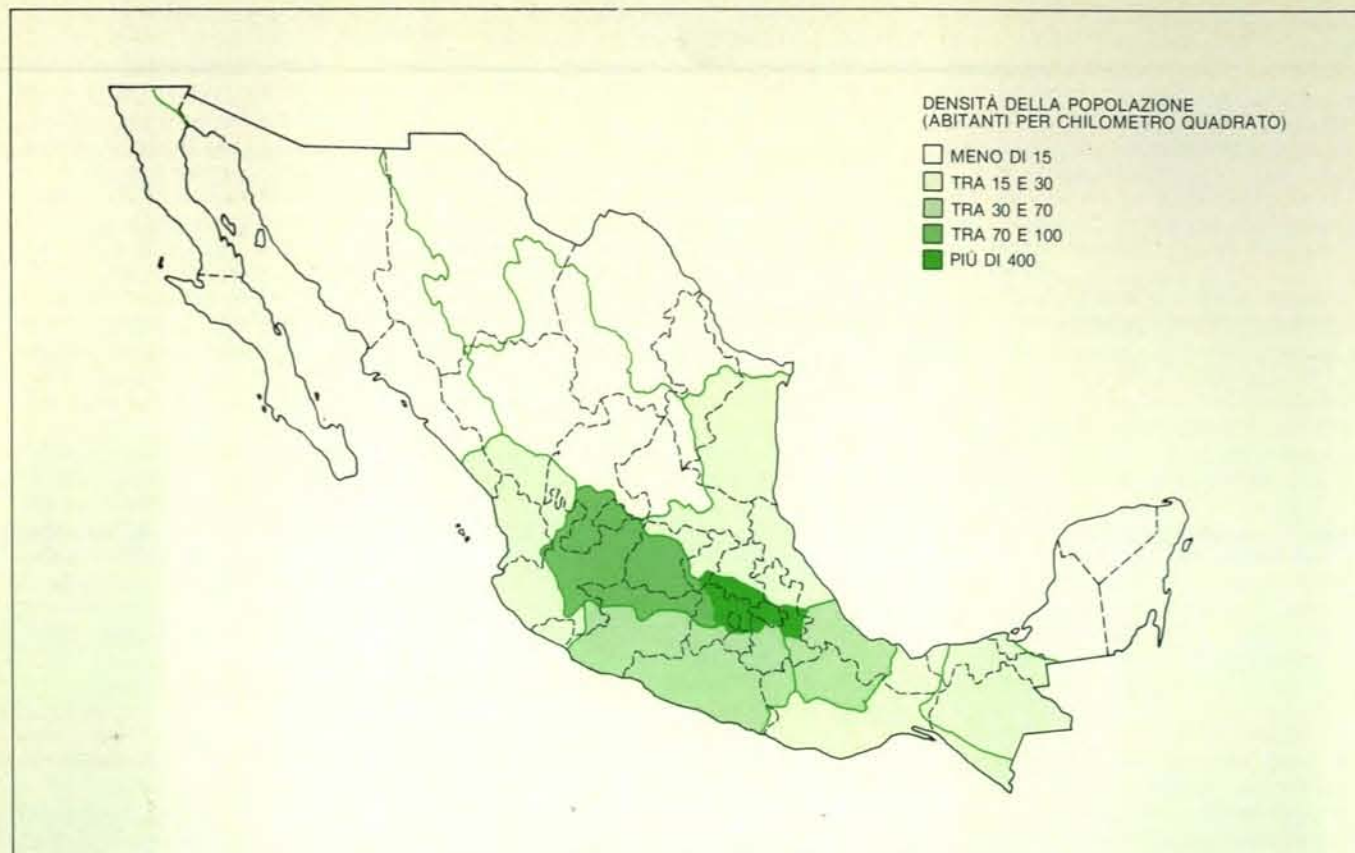
La ricerca agraria ha svolto un ruolo significativo nel rapido aumento della produzione cerealicola nella prima fase della rivoluzione agricola messicana. Nicolás Ardito Barletti, un panamense, ha cercato di valutare il beneficio sociale derivato dalla ricerca e dalle sue applicazioni negli anni del grande sviluppo. Secondo la sua stima l'investimento fatto in tutte le ricerche dal 1945 in avanti ha fruttato dividendi fin dal 1965 del 300 per cento annuo. Gli investimenti nella sola ricerca sul frumento hanno fruttato dividendi del 700 per cento annuo. Anche se questi interessi elevati erano dovuti in parte al fatto che al momento di partenza, cioè nel 1945, le condizioni dell'agricoltura erano primitive anche nel settore più dinamico, è chiaro che la ricerca ha svolto un ruolo chiave nel loro ottenimento.

La responsabilità della ricerca agraria oggi è affidata all'Istituto nazionale della ricerca agraria, creato nel 1960. L'istituto, con il suo quartiere generale a Chapingo, fa funzionare oggi otto stazioni di ricerca regionali, localizzate in diverse parti del paese. Tutte queste stazioni sono ben equipaggiate dal punto di vista fisico, ma sfortunatamente, con la domanda e l'offerta di prodotti agricoli di base in equilibrio e con i problemi delle eccedenze negli anni sessanta, la pressione si è allentata e molte di esse hanno cominciato a essere sempre meno attive. A causa dei bassi salari e della mancanza di opportunità di carriera, i ricercatori agrari più competenti del Messico hanno cominciato a disperdersi in posizioni amministrative e in altre attività più remunerative, e sono stati sostituiti da persone più giovani e con minore esperienza. Senza capi, questi giovani, anche se estremamente capaci, sono stati ostacolati dalla mancanza di controllo e di guida da parte di ricercatori con maggiore esperienza. Di conseguenza la ricerca ha avuto la tendenza a stagnare in molte zone (tranne nel caso della ricerca sul frumento, che è sostenuta in gran parte dal Centro internazionale per il miglioramento del granoturco e del frumento). La mancanza di un programma dinamico di ricerca sul campo e di un adeguato sistema di istruzione degli agricoltori è stato un fattore primario nell'impedire una maggiore diffusione della tecnologia moderna.

Negli ultimi anni si è estesa l'istruzione tecnica. Il Messico ha oggi 7 scuole di agraria a livello preuniversitario, due delle quali danno un grado di istruzione sufficiente a conseguire un diploma universitario. Nel 1974, 188 studenti hanno ottenuto diplomi di perfezionamento in botanica, entomologia, patologia vegetale, genetica, bonifica del terreno, irrigazione, economia agraria e sviluppo rurale. Questo è un buon inizio, ma sono necessarie molte più persone con una conoscenza di base delle scienze fondamentali e delle tecniche di sviluppo rurale.

Allo scopo di stimolare la produzione agricola, dal 1970 le richieste di sovvenzioni pubbliche al settore agricolo sono aumentate più del 700 per cento. In dollari del 1970, ciò rappresenta un aumento di 443 milioni di dollari nel 1970 fino a 3,2 miliardi di dollari nel 1975; in termini di spesa statale complessiva, ciò rappresenta un aumento dal 7,6 al 20,1 per cento.

Di questi aumenti, il Ministero delle risorse idrauliche ha beneficiato per 568 milioni di dollari, ossia per il 18 per cento, tre quarti di quello che è stato necessario spendere per estendere le opere di irrigazione. I bilanci preventivi per la ricerca e per la promozione di una più rapida adozione dei risultati delle ricerche sono essi pure aumentati in misura sostanziale. Un ente separato per lo sviluppo agricolo è stato organizzato nel 1970 e, da allora, ha registrato un aumento di bilancio e di personale del 49 per cento annuo. Nel 1970 l'assistenza tecnica è

Al territorio agricolo irrigato è dovuta più della metà della produzione commerciale complessiva delle aziende agrarie messicane, misurata in dollari (*istogramma in basso*), anche se l'area irrigata rappresenta solo il 30 per cento circa della superficie coltivata complessiva, misurata in ettari (*istogramma in alto*). Le regioni irrigate, oltre a essere più produttive, sono in grado di fornire una gamma più vasta di raccolti.

Un problema fondamentale, che i pianificatori agrari in Messico devono affrontare, è quello della distribuzione della popolazione (*cartina in alto*), che non coincide con la distribuzione delle risorse idriche (*cartina in basso*). Più della metà della popolazione (e anche delle aziende agrarie) è concentrata nelle aree più aride del paese, particolarmente negli altopiani centrali, che possiedono solo il 10 per cento delle risorse idriche della nazione. Per contro, all'incirca il 40 per cento delle riserve idriche disponibili è situato nella regione sud-orientale umida, dove vive solo l'8 per cento circa della popolazione. Le due cartine sono basate sui dati ottenuti dal Ministero delle risorse idrauliche messicano; per finalità statistiche comparative il paese è suddiviso su ambedue le cartine in 13 principali regioni idrologiche.

stata fornita per 604 000 ettari di terreno coltivato. Nel 1974 questa cifra era salita a 2 900 000 ettari. Il numero di assistenti tecnici è aumentato del 42 per cento all'anno fino a un totale di 3352 nel 1975. Fino a oggi la contropartita a questi accresciuti investimenti per l'assistenza tecnica è stata però deludente, in gran parte a causa di mancanza di personale specializzato.

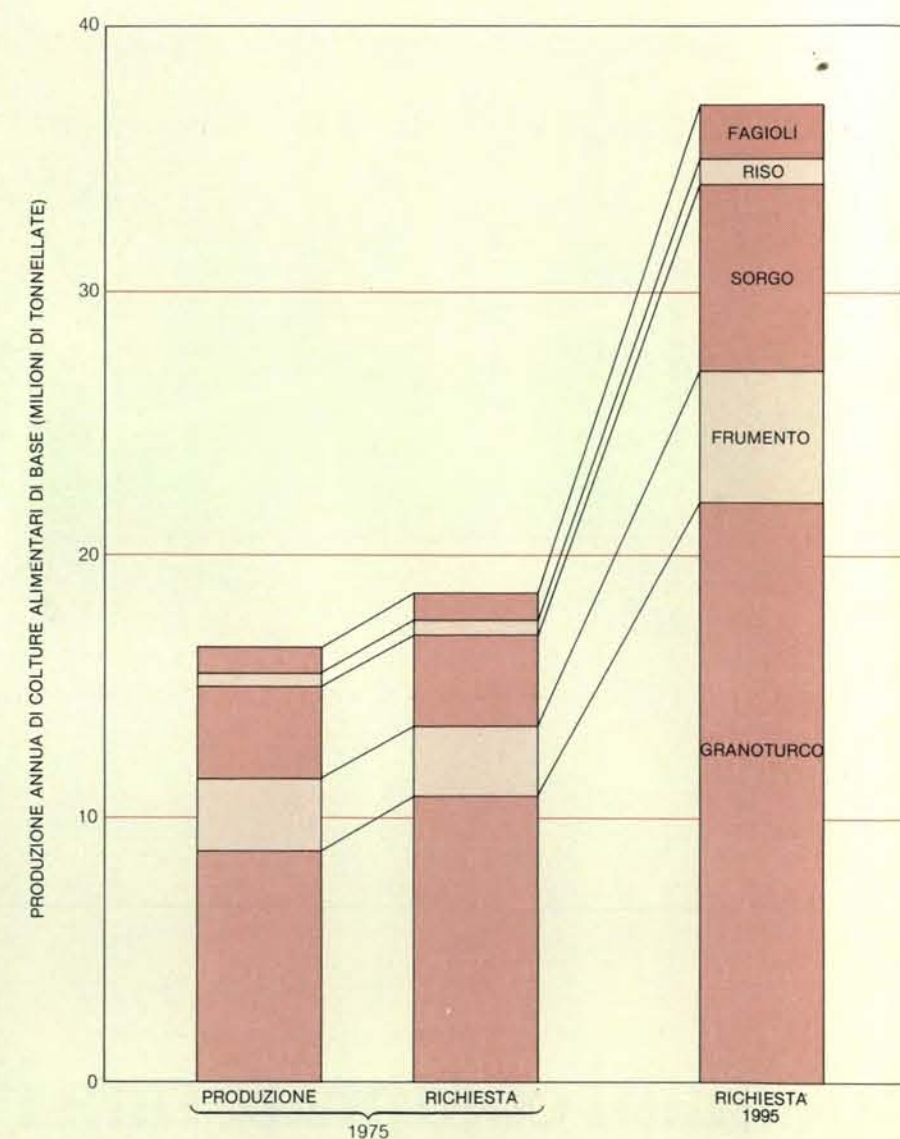
La precedente analisi sullo stato attuale dell'agricoltura in Messico ha messo in primo piano un certo numero di fatti rilevanti per ogni ulteriore incremento della produzione alimentare di questo paese. Innanzitutto, c'è il dualismo dell'agricoltura messicana: da una parte, un settore moderno, progredito, di modeste dimensioni, che fornisce la maggior parte dei prodotti agricoli commerciali e, dall'altra, un settore di agricoltura semicommerciale e di sussistenza, grande e relativamente improduttivo, impegnato in primo luogo a fornire sufficienti raccolti per sfamare gli agricoltori stessi e le loro famiglie. In secondo luogo, c'è il problema del rifornimento limitato e irregolare d'acqua per la produzione agricola nelle principali aree agricole del paese. In terzo luogo, fatto positivo, c'è uno strenuo sforzo da parte dell'amministrazione pubblica a stimolare un nuovo aumento della produzione alimentare.

Questo impegno è formidabile. Se la produzione di cereali deve essere portata a equilibrare la domanda, il tasso annuale di aumento nel prossimo decennio dovrà essere circa del 5 per cento. Anche se il settore più modernizzato, con più del 70 per cento delle attuali disponibilità irrigue, può produrre ancora di più attraverso sistemi agricoli più intensivi e un più efficiente impiego delle piogge stagionali e dell'acqua d'irrigazione, la maggior potenzialità immediata per aumentare la produzione alimentare risiede nel grande settore agricolo tradizionale, in aree con un'elevata piovosità annuale. Questo settore, al momento, sta producendo soltanto una piccola parte di quello che potrebbe con l'applicazione generalizzata delle tecniche moderne.

Malgrado il fatto che saranno necessari anche più fagioli, riso e sorgo, il principale interesse continua a essere rivolto al granoturco: il grado in cui il Messico manterrà la sua autosufficienza nella produzione alimentare dipenderà in primo luogo dal tasso di aumento della produzione di questo cereale. Secondo le migliori stime che si possono fare su statistiche disponibili, la superficie annualmente coltivata a granoturco varia oggi tra 6 e 8 milioni di ettari. Di quest'area grosso modo 620 000 ettari, ossia circa il 10 per cento, vengono coltivati in regime esclusivamente irriguo o con un'irrigazione ausiliaria. Il resto viene coltivato per lo più da aziende agrarie semicommerciali e in zone non irrigate.

Sulla base delle stime fatte dall'Istituto nazionale della ricerca agraria, si può confrontare la quantità di granoturco coltivato correntemente su suoli profondi e poco profondi in cinque diversi regimi di precipitazioni atmosferiche, con la quantità che potrebbe essere prodotta in ciascuno di questi cinque regimi con lo aiuto della moderna tecnologia (*si veda l'illustrazione alle pagine 108 e 109*). Da tali studi risulta che l'applicazione del pacchetto di tecniche raccomandate non è economicamente consigliabile in quei regimi con una piovosità annua inferiore ai 700 millimetri e con una probabilità di siccità superiore al 35 per cento. La potenzialità di produrre maggiori quantitativi di granoturco è dunque limitata alle aree più umide.

È evidente da questi dati che la produzione annua attuale di 6,739 milioni di tonnellate di granoturco nelle aree con maggiore piovosità potrebbe aumentare a più di 25 milioni di tonnellate, cioè quasi quadruplicarsi, con lo sfruttamento più completo della tecnologia disponibile. Questa possibilità è stimolante e, se si realizzerà, potrebbe non soltanto mantenere il Messico autosufficiente per il granoturco nei prossimi due decenni, ma anche determinare un sostanziale aumento del reddito per una grossa parte delle aziende agrarie semicommerciali e per le piccole proprietà di sussistenza. In queste aree, con l'attuale rapporto costo-prezzo, gli agricoltori possono attendersi, negli anni buoni, un profitto del 100 per cento sugli investimenti in fertilizzanti. È possibile che l'attuale pacchetto tecnologico, con certe modifiche, venga esteso persino ad alcune delle aree con minor piovosità, aumentando così ulteriormente la progettata potenzialità per il granoturco.

Nelle proiezioni per le aree più umide, il sostanziale aumento del numero di ettari si basa sull'ipotesi che l'attuale abitudine di abbandonare periodicamente un terreno coltivato di buona qualità per reintegrarne la fertilità, scomparirà

Le dimensioni del compito che si presenta al Messico, onde evitare grosse importazioni di alimenti per il futuro, vengono suggerite da questi tre istogrammi, che mettono a confronto la quantità di cinque colture alimentari di base prodotte e necessarie in Messico nel 1975, con la quantità che sarà necessaria nel 1995 se si mantiene l'attuale tasso di crescita della popolazione.

completamente con la diffusa somministrazione di fertilizzanti chimici. Poiché i fagioli sono piantati in genere in associazione con il granoturco, è possibile che gli aumenti nelle disponibilità di questo prodotto, necessarie nel 1995, provengano anche dalle aree con piovosità maggiore, con l'aiuto di tecniche perfezionate.

Nella realizzazione di questo enorme potenziale devono essere superati molti ostacoli. Saranno necessarie ricerche sul campo, più pratiche, per determinare l'esatto fabbisogno in fertilizzanti e le pratiche agricole più economiche per ognuna delle differenti situazioni ecologiche in cui il granoturco e i fagioli possano essere coltivati con successo. Questo compito deve essere collegato con studi nel campo dell'economia agraria e delle scienze sociali, in modo da capire meglio i problemi e le motivazioni dell'agricoltura tradizionale. Inoltre dovranno essere elaborate per ogni comunità nuove strategie per raggiungere una rapida adozione di una nuova tecnologia di produzione da parte di un numero notevole di addetti a un'agricoltura semicommerciale e di sussistenza, scarsamente motivati. I sistemi convenzionali, che sono stati così efficaci nel diffondere la moderna tecnologia tra gli agricoltori più avanzati, hanno scarso valore in questi settori più conservatori.

Questi agricoltori necessiteranno di un'assistenza più diretta nella commercializzazione delle loro operazioni. Si devono capire meglio le loro motivazioni e i loro problemi. Deve essere attenuato il loro timore di cambiare e devono essere creati e incoraggiati nuovi incentivi per questi cambiamenti. Devono essere sviluppati sistemi più adeguati di facilitazione dei crediti e risolti molti problemi nella distribuzione dei mezzi di produzione. Si dovranno fornire, inoltre, maggiori possibilità di commercializzazione e di immagazzinamento.

È improbabile che gli ostacoli possano essere rimossi senza la formazione di un nuovo quadro di addetti al miglioramento rurale, che si occupino della produzione, che siano ben inseriti, che capiscano i problemi che devono essere risolti e abbiano esperienza nelle strategie da seguire. Questi esperti devono operare a stretto contatto con il piccolo agricoltore per far aumentare la sua produzione e il suo reddito e per aiutarlo a migliorare il suo tenore di vita nel luogo dove abita, in modo che non sia costretto a cercare nuove opportunità di lavoro nelle città già sovraffollate. Una volta che gli addetti saranno insediati nelle loro funzioni e che un forte desiderio di produrre di più e di vivere meglio sarà stato instillato nel settore agricolo tradizionale, la richiesta di credito, di materiali, di mezzi di produzione e di migliori condizioni per il commercio e per l'immagazzinamento servirà subito ad appianare le molteplici difficoltà che si incontrano.

Grazie alla capacità d'immaginazione di un piccolo gruppo di persone della scuola di specializzazione di Chapingo e del vicino Centro internazionale per il miglioramento del frumento e del granoturco, venne stabilito nel 1967, nello stato di Puebla, in un'area non irrigata, un programma pilota per lo sviluppo, il controllo e l'applicazione di strategie per accelerare la produzione del granoturco e il progresso socioeconomico dell'agricoltura semicommerciale e di sussistenza. Questo progetto estremamente ben riuscito ha identificato in maniera chiara i molti problemi e le limitazioni che l'agricoltore locale deve affrontare e ha individuato un certo numero di efficaci strategie per la loro soluzione. Il suo successo costituirà indubbiamente un importante fattore nell'accelerare il programma d'investimenti per un grande sviluppo rurale, avviato di recente dal governo del Messico.

Il progetto Puebla ha dimostrato che piccoli agricoltori, i quali operino in zone non irrigate, possono sfruttare con profitto la moderna tecnologia. Tuttavia, anche quando le tecniche più produttive vengono applicate correttamente, il rischio di perdite per siccità, grandinate, gelate ed eccessive piogge fuori stagione sembra essere un'importante limitazione alla loro ampia diffusione. Per compensare i piccoli agricoltori di tali perdite, il governo ha istituito un efficiente programma di assicurazioni, la cui copertura è passata da 1,9 milioni di ettari nel 1973 a 2,6 milioni di ettari nel 1974, quindi con un aumento del 36 per cento in un anno.

L'ulteriore sviluppo di un'irrigazione ausiliaria sotto forma di pozzi artesiani, un'altra soluzione in corso d'indagine presso il Ministero delle risorse idrauliche, avrebbe un effetto ancora maggiore nel promuovere la più rapida adozione della nuova tecnologia nelle aree non irrigate. I potenziali vantaggi derivanti da questo metodo sembrano essere molto più grandi di quelli che deriverebbero dalla costruzione di nuove opere di irrigazione su grande scala. Laddove questa irrigazione ausiliaria è realizzabile, i rischi di basse rese o di perdite dei raccolti in seguito a siccità potrebbero essere annullati. In tali aree essa non solo assicurerebbe all'agricoltore un sostanziale profitto sul danaro investito in fertilizzanti, sementi di buona qualità, insetticidi e manodopera in più, ma aggiungerebbe anche una non indifferente quantità di cereali al «paniere» nazionale. Con la diffusione della tecnologia moderna attraverso il progetto Puebla, la richiesta di pozzi artesiani è notevolmente aumentata e ne sono stati messi in funzione parecchi, gestiti dai comuni.

L'irrigazione ausiliaria allontanerebbe molti dei rischi dovuti ad annate siccitose nelle aree normalmente più umide. Inoltre potrebbe estendere le moderne tecniche di produzione in certe aree con piovosità minore. Se questo non si potrà realizzare, è improbabile che i quasi 3 milioni di ettari, oggi coltivati annualmente a granoturco, nelle aree marginali con bassa piovosità, potranno contribuire molto ad aumentare la produzione commerciale di questa coltura, per lo meno nel prossimo futuro. Ci sono quelli che sostengono che questa vasta area potrebbe essere gradatamente resa disponibile per la produzione di altre colture, quali il sorgo, il miglio e l'erba da pascolo per il bestiame, colture che sono di solito considerate come più efficienti in condizioni di scarsa ed erratica piovosità. Rimane il fatto che il granoturco è la principale coltura di sussistenza per la gente che vive in queste zone e non è affatto probabile che queste persone siano disposte a sostituirlo con qualcosa d'altro nella loro dieta. Anche se per loro l'attuale pacchetto di tecnologie non è economicamente realizzabile, si potrebbero sviluppare nuovi pacchetti, basati sulla coltivazione di varietà migliorate ad alta resa, di precoce maturazione e tolleranti alla siccità, con l'aggiunta di piccole quantità di fertilizzanti chimici e di tecniche per la conservazione dell'umidità. Queste tecniche potrebbero essere estremamente proficue in un periodo, diciamo, di 10 anni. Tuttavia, una simile possibilità è praticamente attualmente ignorata dai ricercatori.

In concorrenza con gli sforzi compiuti, in special modo per aumentare la produzione di granoturco nelle aree non irrigate, si devono intensificare le ricerche sui modi di rendere ancora più produttive le opere d'irrigazione su grande scala. In aree che non sono mai colpite dal gelo, dovrebbe essere possibile ottenere annualmente tre o quattro raccolti, mentre oggi se ne ottengono soltanto due. Nelle aree suscettibili al gelo, il frumento è un'eccellente coltura invernale. Attualmente i rendimenti di questo cereale raggiungono una media di circa 3,6 tonnellate per ettaro e potrebbero essere portati facilmente a 6-7 tonnellate per ettaro. Alcuni agricoltori ne ottengono già 6, mentre nelle stazioni sperimentali si stanno raggiungendo con le nuove varietà rendimenti di anche 10 tonnellate.

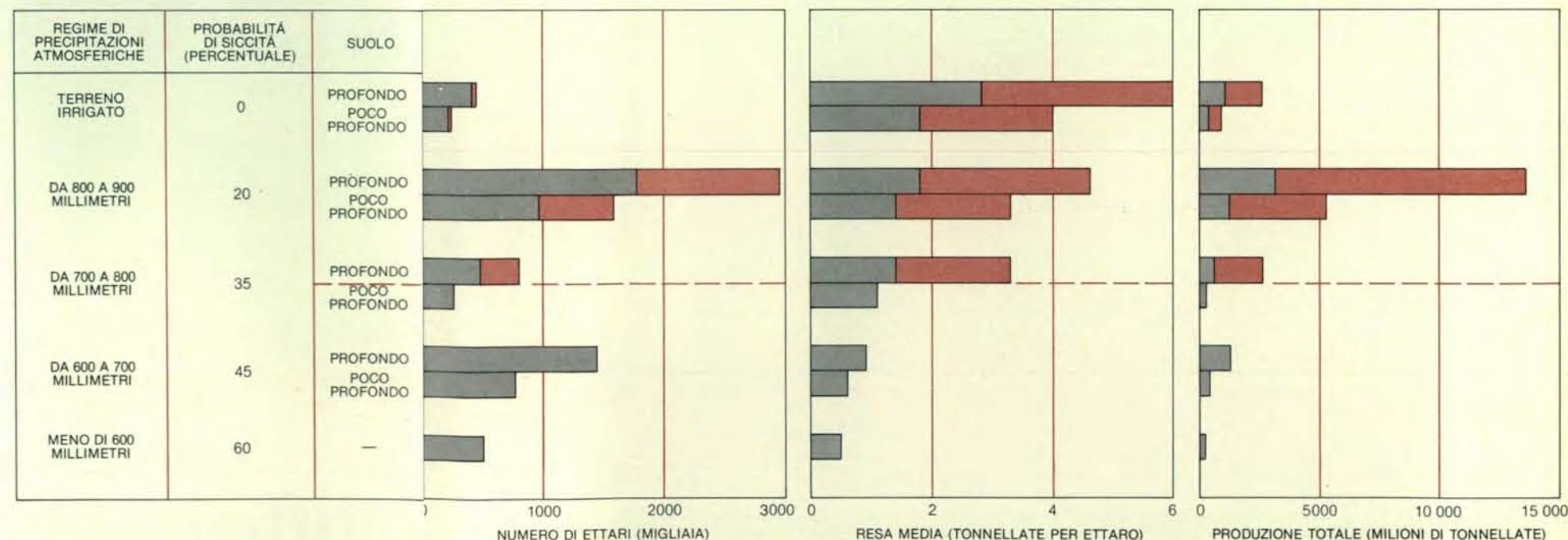
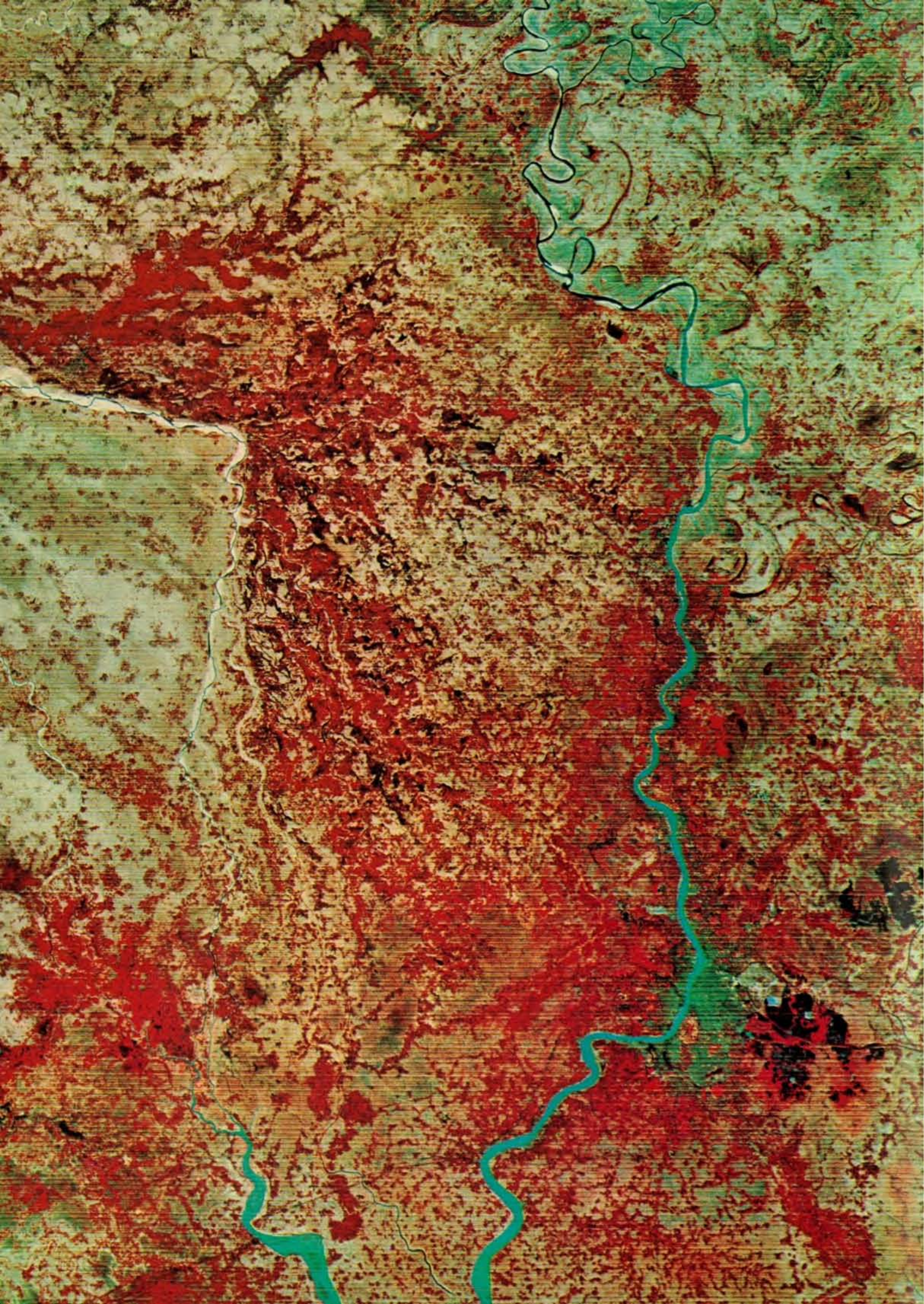
Si stanno compiendo studi per valutare la possibilità di costruire sistemi di controllo idrico nelle basse aree tropicali, molto piovose, del Messico sudorientale. Con un'opportuna preparazione, 150 000 ettari di nuovo territorio potrebbero essere messi quasi immediatamente a coltura per tutto l'anno. Nel decennio successivo si potrebbero aggiungere altri 3 milioni di ettari. Questo sforzo sarebbe molto costoso, ma aprirebbe enormi possibilità per la produzione di nuovi alimenti. Per esempio, la produzione di riso potrebbe essere trasferita dalle aride pianure costiere sul Pacifico, che devono essere irrigate, ai bassopiani costieri umidi, che si affacciano sul Golfo del Messico. Analogamente, la canna da zucchero, anch'essa adatta alle condizioni umide, potrebbe essere spostata dal Pacifico nordoccidentale al Pacifico sudorientale, liberando così migliaia di ettari di terreno per la produzione (che richiede molta manodopera) di colture alimentari più facili da produrre in climi secchi. Con un controllo idrico, anche il granoturco potrebbe essere un'eccellente coltura nelle regioni sudorientali durante la stagione piovosa.

Per fare di questa possibilità una realtà, sarebbe necessaria un'ampia ricerca sui sistemi colturali e di gestione del suolo. In condizioni di elevata piovosità, un buon terreno, una volta rimossa la vegetazione naturale, perde rapidamente la sua produttività se non vi sono dei sistemi speciali di coltura e di gestione. Nell'esplorare questa possibilità, l'esperienza dell'Istituto internazionale di agricoltura tropicale, nelle foreste pluviali della Nigeria, e quella degli istituti di ricerca tropicale in altre aree, sarebbe molto utile ai ricercatori messicani.

Al tasso attuale d'incremento demografico, il Messico dovrà accrescere la propria produzione cerealicola di base da 16 milioni di tonnellate all'anno a 37 milioni di tonnellate nel 1995, per evitare grosse importazioni. Le autorità di governo sono intenzionate ad arrivare a questo e il paese ha territorio e risorse idriche sufficienti, che potrebbero essere sfruttati in maniera più efficace nel rendere questo traguardo una realtà. Così il Messico si trova in una posizione eccellente per poter soddisfare le proprie esigenze alimentari nei prossimi tre decenni. Lo sviluppo di questo potenziale non solo accrescerà notevolmente le disponibilità alimentari del Messico, ma darà anche numerose opportunità di lavoro meglio rimunerato a persone che sono oggi sottoccupate.

Molti degli elementi essenziali per una seconda rivoluzione agraria in Messico esistono già. Tutte le posizioni chiave al Ministero dell'agricoltura sono occupate da funzionari capaci, entusiasti, che hanno acquisito una considerevole esperienza pratica sul campo durante il precedente periodo di sviluppo. Tutti sono ben preparati da un punto di vista accademico nelle scienze agrarie di base. Molti altri esperti, ben preparati, che hanno partecipato alla prima rivoluzione, insegnano oggi nella scuola di Chapingo e in alcune delle altre importanti scuole agrarie, sparse in tutto il paese. Finora i funzionari governativi sono riusciti ad aumentare in maniera sostanziale le capacità nazionali di produzione di fertilizzanti, hanno stabilito politiche dei prezzi estremamente favorevoli all'applicazione di moderne tecniche di produzione e hanno accresciuto i fondi disponibili per uno sviluppo agricolo generale.

Aumentare la produzione del settore tradizionale nelle aree non irrigate sarà molto più difficile di quanto sia stato aumentare la produzione del settore moderno durante gli anni del grande sviluppo. Per realizzare questo compito saranno necessarie: 1) una più precisa definizione delle tecniche di produzione altamente vantaggiose per ciascuna delle diverse regioni ecologiche; 2) strategie più efficaci per una adozione più ampia delle tecniche; 3) un'ampia équipe multidisciplinare di esperti che vogliano collaborare strettamente con gli agricoltori, insegnando loro e spingendoli verso nuovi livelli di produttività.

Se il settore moderno deve, nei prossimi due decenni, raddoppiare la sua produzione, dovranno essere sviluppati sistemi di coltivazione più intensiva e dovranno anche essere accresciuti i rendimenti di tutte le colture. Tutto questo richiederà una ricerca più sofisticata e una maggiore attività degli esperti agrari per insegnare le nuove tecniche agli agricoltori.

La capacità potenziale del Messico di accrescere la produzione di granoturco è rappresentata dagli incrementi in colore associati con ogni istogramma di questa figura, che mette a confronto la quantità di granoturco correntemente coltivato su suoli profondi e poco profondi in 5 diversi regimi di piogge, con quello che potrebbe essere prodotto in ognuno di questi regimi con l'aiuto della moderna tecnologia. Il grafico si basa sulle stime effettuate dall'Istituto nazionale della ricerca agraria vicino a Città del Messico. La conclusione generale che si può trarre da tali statistiche è che l'applicazione del pacchetto raccomandato di pratiche agricole sarebbe economicamente realizzabile da parte degli agricoltori che si trovano in aree aventi una piovosità annua superiore a 700 millimetri e una probabilità di siccità inferiore al 35 per cento. Questa soglia viene indicata dalla linea tratteggiata in colore.

L'agricoltura in India

Il paese ha risolto il problema alimentare molto meglio di quanto si pensi. Un ulteriore aumento della produzione, però, può costringere l'India a difficili scelte tra sviluppo agricolo e sviluppo industriale

di John W. Mellor

In contrasto con gli standard abituali dal 1950 a oggi, l'India ha accresciuto la produzione di cereali destinati all'alimentazione approssimativamente del 2,8 per cento all'anno, una percentuale notevolmente più alta di quella relativa all'aumento della popolazione, che è di circa il 2,1 per cento durante lo stesso periodo. Come risultato si è avuto un modesto miglioramento dell'alimentazione e una notevole diminuzione del tasso di mortalità. Questo fatto è in netto contrasto con quanto avvenne negli ultimi decenni di occupazione coloniale, prima del 1947, quando, con un tasso annuale di crescita dello 0,11 per cento, la produzione di cereali per l'alimentazione era praticamente stagnante, mentre la popolazione cresceva a un tasso annuo dell'1,5 per cento. Negli ultimi decenni di colonialismo le risorse alimentari interne dell'India diminuirono rapidamente in conseguenza dello sforzo di provvedere a creare le eccedenze da esportare che si esigevano da una colonia. Il paese ereditò non solo una situazione problematica, per quanto riguardava il problema dell'alimentazione e del benessere sociale ma anche una situazione di povertà e una serie di istituzioni assolutamente inadatte al suo sviluppo. Il progresso ne fu paralizzato per decenni.

In confronto con la Cina, l'altro grande paese a basso reddito, l'India ha raggiunto un tasso di incremento un po' più alto nella produzione di cereali per l'alimentazione, sebbene sia partita da una base considerevolmente inferiore per quanto riguarda i rendimenti medi e la proporzione della superficie agricola irrigata. È difficile fare un paragone esatto fra i due paesi, dato che la scarsità della produzione dovuta ad avversità meteorologiche o a instabilità politica non si è avuta negli stessi anni e anche per il fatto che sono diversi nei due paesi i sistemi di elaborazione statistica dei dati. Trascurando tali complessità, la tendenza di crescita a lungo termine della produzione cinese di cereali a partire dal 1950 si calcola sia del 2 per cento annuo, a fronte del 2,8 per cento dell'India.

L'India ha una popolazione di 600 milioni di abitanti (due terzi di quella della Cina e circa tre volte quella degli Stati Uniti), è il quarto produttore mondiale di cereali e, virtualmente, una delle nazioni a più alto potenziale per quanto riguarda i futuri incrementi di tale produzione. Dato il peso dell'India nella situazione alimentare mondiale, è di decisiva importanza che gli attuali stereotipi sull'economia alimentare indiana cedano il passo a una rigorosa analisi delle tendenze passate, della natura delle risorse potenziali e dei requisiti essenziali per un adeguato orientamento in materia politica e di investimenti. Le basi degli stereotipi detti sono quattro e valgono di per sé a chiarire buona parte dei problemi e delle esigenze dell'India in campo alimentare.

In primo luogo, l'India è soggetta da un anno all'altro a notevoli fluttuazioni delle condizioni meteorologiche e nel passato si è avuta la tendenza a mitigare le conseguenti carenze nelle disponibilità alimentari con le importazioni piuttosto che ricorrere al più costoso magazzinaggio interno. In questo modo nel periodo successivo al conseguimento dell'indipendenza, sebbene si siano avute variazioni notevoli da un anno all'altro nelle importazioni di cereali, non c'è stata una tendenza ad aumentarne o a diminuirne l'importanza relativa. Sotto questo aspetto, i dati provenienti dalla Cina mostrano una analogia sorprendente tanto nella scala delle importazioni quanto nella priorità data nei rifornimenti ai centri urbani maggiori.

In secondo luogo l'India, a differenza della Cina, ha conservato i legami con i paesi sviluppati, perciò si è servita di preferenza per le importazioni dei canali degli aiuti alimentari piuttosto che di quelli commerciali; e questo ha dato una eccessiva pubblicità ai periodi di deficit interno.

In terzo luogo, e forse è questo il punto più importante, non si è avuta in India una massiccia rivoluzione sociopolitica paragonabile a quella cinese e, pertanto, la distribuzione dei redditi personali è sostanzialmente simile a quella degli Stati Uniti. Di conseguenza, in un paese così povero, in media, come l'India postcoloniale, vi è una vasta parte della popolazione che anche in tempi normali non ha un reddito sufficiente per procurarsi il cibo attraverso i sistemi di distribuzione commerciale e che in tempi di raccolti insufficienti è soggetta a uno stato di estrema penuria e addirittura alla fame. Il sistema politico indiano, contrariamente a quello cinese, non è in grado di controllare in maniera adeguata la produzione per mezzo di misure coercitive in modo da alleviare tale stato di estremo bisogno.

In quarto luogo, lo sviluppo dell'agricoltura è un processo di mutamento istituzionale, ed è quindi necessariamente lento. Il mito dei mediocri risultati ottenuti dall'India nella produzione di alimenti impedisce l'analisi dell'ampiezza su cui avvengono questi mutamenti e quindi l'analisi delle basi dello sviluppo futuro. Inoltre, manca una base teorica sufficiente per analizzare l'esperienza indiana nel campo dello sviluppo agricolo

La struttura finemente granulare dei fondi rurali tipici dell'agricoltura indiana è evidente in questa fotografia a colori falsati, ripresa dal LANDSAT, nello stato del Bengala occidentale, ove, secondo l'opinione di molti agronomi, la produttività agricola è stata ostacolata da un sistema di piccoli proprietari terrieri, ognuno dei quali solitamente possiede quattro ettari di terreno coltivabile, che a sua volta è suddiviso fra tre o quattro fittavoli e le loro famiglie. La scala generale di questa veduta, ripresa dal LANDSAT 2 da un'altezza di circa 920 chilometri il 29 marzo 1975, è la stessa dei territori agricoli americani e messicani riprodotti alle pagine 12, 84 e 96. Malgrado la relativamente scarsa produttività odierna della fertile pianura gangetica orientale, la regione possiede una ricca falda acquifera e si ritiene sia dotata di un grande potenziale di sviluppo agricolo. La zona verde-azzurra nella parte inferiore destra è Calcutta e il grande fiume che l'attraversa è lo Hooghly, il braccio più occidentale del delta del Gange.

straordinariamente ricca, che va dal Community Development Program all'Intensive Agricultural District Program e allo Small and Marginal Farmers Program. Questi tre programmi, non solo offrono importanti indicazioni per la soluzione del problema alimentare mondiale, ma hanno portato anche alla formazione graduale di istituzioni nazionali progredite al servizio del settore agricolo, settore attualmente alquanto trascurato dai consulenti occidentali dei paesi in via di sviluppo.

In un paese come l'India l'agricoltura ha nell'economia un peso determinante. Circa metà del suo prodotto nazionale lordo proviene dall'agricoltura: più di metà di tutte le spese del consumatore riguardano l'alimentazione. Quando i raccolti sono scarsi le spese totali dei consumatori diminuiscono in modo consistente e decresce in modo ancor più marcato l'investimento industriale. È stato dimostrato che la popolazione a basso reddito spenderà per il cibo la maggior parte di qualsiasi aumento di reddito. La conclusione è chiara: un programma di sviluppo che mobiliti la popolazione a basso reddito a scopi produttivi provocherà una richiesta di beni alimentari più alta di quanto sarebbe se essa fosse lasciata priva di occupazione o occupata in modo marginale.

D'altra parte, una strategia che favorisca l'espansione dell'industria pesante - con forte impiego di capitale - a spese dell'agricoltura e della produzione di beni di consumo con impiego di capitale più ridotto, provocherà contemporaneamente una stasi nella produzione agricola e un incremento più lento nella domanda di alimenti, dato che una industrializzazione ad alta intensità di capitale contribuisce ad aumentare il reddito di una piccola minoranza della popolazione. La politica agricola implica assai più di una gara fra la produzione di alimenti e l'aumento della popolazione: essa stabilisce inequivocabilmente chi prenderà parte allo sviluppo economico di un paese e chi no. La scelta di una determinata politica comporta quindi tutta una serie di considerazioni.

Non fu né il caso né l'ignoranza a dare all'India, sul finire degli anni cinquanta e all'inizio degli anni sessanta, un piano che prevedeva una esigua partecipazione dei poveri, dava poca importanza all'agricoltura e molta invece all'industria pesante. Negli anni cinquanta cominciavano appena a emergere dalle ricerche in campo agricolo gli elementi essenziali della «rivoluzione verde» e questi non davano la sicurezza che forti investimenti nell'agricoltura sarebbero stati remunerativi.

Anche se l'India non ha dato la priorità al settore agricolo negli anni cinquanta e sessanta, in realtà il suo sviluppo fu accettabile, con squilibri regionali e una notevole quantità di attività sperimentale. Forse l'esperimento più interessante fu il vasto Community Development Program. Avviato nel 1952 in 25 000 villaggi e giunto a interessarne 500 000 verso il 1961 con la partecipazione di 300 milioni di persone, questo programma, con tutti i suoi limiti, fu tra i primi del mondo ad adottare una visione integrale del problema, così come è ora consuetudine tra coloro che si occupano di sviluppo agricolo. La rivoluzione verde conobbe il suo più grande successo nel Punjab, nell'India nordoccidentale, ove si registrò un tasso di sviluppo agricolo più alto che a Taiwan, spesso considerata come un modello di massimo sviluppo agricolo. (Taiwan e il Punjab hanno all'incirca lo stesso numero di abitanti.) Altre due regioni indiane, una parte del Gujarat a occidente e l'Andhra a sud, hanno pure raggiunto livelli sorprendenti di produzione agricola, malgrado le profonde differenze nelle tradizioni culturali e istituzionali. Ma in India esiste anche il Bihar, in cui le usanze in materia di proprietà terriera ostacolano l'aumento della produzione; il Bengala occidentale ove a un grande potenziale agricolo si associano mediocri produzioni agricole, e il Madhya Pradesh, che comprende vaste estensioni territoriali poco promettenti dal punto di vista agricolo. Da quanto abbiamo detto, è evidente che è difficile fare considerazioni generali sull'agricoltura di un paese le cui regioni sono così profondamente diverse. Nello stesso tempo tali diversità consentono interessanti occasioni di confronto e di insegnamento.

I quattro cereali più importanti - riso, frumento, sorgo e miglio - si coltivano per la maggior parte in regioni dell'India diverse per il clima, la natura del suolo e la tradizione. Circa il 40 per cento del territorio totale del paese è interessato dall'agricoltura, che fornisce circa metà del prodotto nazionale lordo. Per contro, negli Stati Uniti, soltanto il 20 per cento circa dei 48 stati dell'area continentale è destinato a coltivazioni. Inoltre gli Stati Uniti, con una popolazione pari a un terzo di quella indiana, hanno una produzione agricola superiore di un terzo a quella dell'India. L'India tuttavia ha la possibilità di irrigare buona parte del suo territorio agricolo così da ottenere due o anche tre raccolti l'anno. Come si può notare dalla cartina, l'estensione di territorio coltivato a miglio e sorgo (insieme ad altri cereali di minor importanza) è maggiore di quella coltivata a riso, la quale, a sua volta, è maggiore di quella che è coltivata a frumento.

L'aumento della produzione cerealicola indiana nei venticinque anni successivi al 1950 si può suddividere in tre periodi: un decennio di aumento accelerato, basato sulla tecnologia tradizionale (1950-1960), un quinquennio di transizione (1960-1965) e un periodo in cui l'aumento della produzione è dipeso sempre di più dalla nuova tecnologia. È difficile identificare con precisione i fattori decisivi per la radicale accelerazione della produzione di cereali dallo 0,11 per cento del periodo coloniale al 2,8 per cento degli anni cinquanta. È chiaro che l'improvviso aumento non fu dovuto a investimenti volti alla modernizzazione del settore. Certamente aumentò molto l'impiego dei fertilizzanti, ma ciò avvenne da un livello iniziale praticamente uguale a zero. Probabilmente le nuove varietà di piante coltivate non fecero altro che mantenere, o superare di poco, i rendimenti già esistenti dovendo affrontare malattie quali la ruggine del grano. Inoltre vi sono scarse prove che il Community Development Program, allora appena avviato, abbia avuto una influenza immediata sulla produzione agricola.

Probabilmente un quinto dell'incremento della produzione è da attribuire all'aumento dell'irrigazione, circa due quinti a un maggiore impiego di manodopera connesso all'aumento della popolazione e forse un terzo semplicemente all'aumento dell'estensione delle terre sottoposte a coltura. Questi ultimi due fattori, ma anche il primo, si possono attribuire in larga parte alle nuove energie liberate e ai nuovi incentivi forniti dall'indipendenza nazionale. Uno degli stimoli più importanti fu costituito dalle riforme che segnarono la fine del sistema britannico di dare in appalto la riscossione delle tasse a un gruppo privilegiato, i cui membri si erano praticamente trasformati in virtuali proprietari di immensi latifondi.

I lusinghieri risultati raggiunti dall'India nella produzione di cereali negli anni cinquanta si deteriorarono a cominciare dal decennio successivo. Il tasso annuo di aumento (effettuate le correzioni necessarie per compensare l'influenza dei fattori meteorologici) discese al 2 per cento, mentre nello stesso periodo la crescita della popolazione subiva un'accelerazione di circa il 2,5 per cento annuo e i redditi pro capite andavano aumentando con un ritmo anche superiore, mai verificatosi in precedenza. L'aumento dei redditi era stimolato da un tasso annuale di sviluppo industriale pari quasi al 10 per cento. Così, malgrado il fatto che in questo breve periodo aumentassero gli aiuti alimentari da parte degli Stati Uniti, i prezzi dei cereali per uso alimentare salirono più rapidamente di quelli degli altri prodotti. Questa fu, almeno in parte, la causa del rallentamento nello sviluppo industriale. Tali avvenimenti, unitamente alla disastrosa siccità del periodo 1965-1967 e a una repentina diminuzione dell'aiuto straniero, furono i presupposti di un decennio di stasi economica generale.

Proprio mentre il ritmo della produzione dei cereali andava rallentando, gli impulsi fondamentali responsabili dello sviluppo della produzione agricola si trasferivano dalle forze associate con la fine della dominazione coloniale a quelle legate alla nuova tecnologia. La messa a coltura di nuove terre divenne meno importante, mentre lo divenne di più l'impiego dei fertilizzanti. A quest'ultimo fattore va attribuito circa il 40 per cento dell'incremento della produzione di cereali nel periodo 1961-1965, molto superiore a quello di meno del 10 per cento avutosi nel decennio precedente. Successivamente l'introduzione di nuove varietà di cereali ad alta produttività e di nuove tecniche di coltivazione avrebbero accresciuto la richiesta di fertilizzanti nelle aziende agricole indiane, creando le premesse per un ulteriore sviluppo negli anni a venire. Sebbene «rivoluzione verde» non fosse ancora un'espressione di uso corrente negli anni dal 1961-1965, le sue basi istituzionali furono poste proprio in quegli anni.

Prima, però, che la rivoluzione verde venisse realizzata e quasi a drammatizzarne l'urgenza, la siccità del 1965 decurtò la produzione di cereali del 19 per cento, pari a 17 milioni di tonnellate, annullando un intero decennio di incremento nella produzione di cereali. Col persistere della siccità nell'anno successivo, che fece tabula rasa delle riserve di cereali, le difficoltà furono immense, malgrado che gli Stati Uniti inviassero cereali per un ammontare di circa il 15 per cento della ridotta produzione interna indiana. Soltanto la straordinaria capacità del paese di mettere in atto programmi di soccorso evitò un disastro di enormi proporzioni.

È difficile esagerare l'influenza delle condizioni meteorologiche indiane non solo sull'agricoltura del paese, ma anche sul criterio con cui gli osservatori stranieri interpretano la situazione alimentare mondiale. Negli anni in cui l'India ebbe buoni raccolti (1949-1950, 1954-1955, 1961-1962, 1964-1965, 1970-1971, e 1975-1976) la situazione alimentare mondiale è sembrata buona e si è parlato di eccedenze. Negli anni di raccolti scarsi (1957-1958, 1965-1967, 1972-1973) la situazione è parsa grave e da tutte le parti sono spuntati i profeti di sciagure.

Il primo raccolto dopo la siccità, quello del 1968, fece registrare un aumento record del 28 per cento, senza precedenti. La rivoluzione verde era in atto. La sola produzione di frumento aumentò di cinque milioni di tonnellate e raddoppiò durante i sette anni successivi, il che equivale a un tasso medio composto annuo del 10 per cento. Verso la metà degli anni settanta, oltre metà delle terre coltivate a varietà di frumento del miracolo nelle regioni meno sviluppate si tro-

vava entro i confini della penisola indiana.

In India tuttavia la quantità totale di frumento prodotto era allora meno di un terzo di quella del riso e l'impatto delle nuove tecnologie fu assai meno importante per il riso che non per il frumento. Le condizioni assai eterogenee in cui ha luogo la produzione del riso rendono assai più difficile ottenere nuove varietà soddisfacenti. Inoltre le regioni risicole indiane sono dotate di una rete di istituzioni di aiuto agli agricoltori meno efficiente di quella che esiste nelle regioni coltivate a frumento. Di conseguenza le regioni risicole sono in ritardo di parecchi anni nel trarre vantaggi dalle nuove tecnologie rispetto alle regioni coltivate a frumento.

Tuttavia la produzione totale di cereali salì a un tasso medio del 3,3 per cento annuo nel periodo compreso fra le annate 1964-1965 e 1970-1971, che ebbero un andamento molto simile e fruirono di condizioni meteorologiche eccellenti. Si può attribuire il 60 per cento di questo aumento al complesso di fattori associati all'uso intensivo di fertilizzanti. Per la natura e l'ubicazione della nuova produzione, la quantità di cereali che pervenne ai mercati urbani nel periodo tra il 1964-1965 e il 1970-1971 si accrebbe al ritmo impressionante del 4,5 per cento annuo. Nel breve periodo, questa maggior disponibilità di cereali venne usata in sostituzione delle importazioni, una strategia suggerita dall'incertezza circa la disponibilità di forniture dagli Stati Uniti. Sul lungo periodo, questo aumento accelerato ebbe profonde conseguenze tanto sul ritmo quanto sul modello di sviluppo economico generale dell'India.

Dal 1971 al 1975 l'aumento della produzione cerealicola indiana sembrò arrestarsi. A una serie di periodi di siccità nel 1972 e nel 1973 fece seguito una scarsità mondiale di fertilizzanti dovuta a una insufficiente capacità produttiva mondiale, descrivibile unicamente come una gestione disastrosa dell'economia dei fertilizzanti su scala mondiale, soprattutto se si considera il ruolo fondamentale dei fertilizzanti in qualsiasi impegno volto a migliorare in modo permanente l'equilibrio mondiale fra alimenti e popolazione. Quest'ultimo fenomeno colpì duramente proprio quell'aspetto di modernizzazione dell'agricoltura nel quale si andavano necessariamente riponendo le speranze di un miglioramento della situazione alimentare del paese. L'annata agricola 1975-1976, tuttavia, favorita dalle condizioni meteorologiche e dall'inizio del recupero nella disponibilità dei fertilizzanti, vide salire di colpo la produzione a ben 116 milioni di tonnellate e aumentare le riserve alimentari di circa 10 milioni di tonnellate. La possibilità o meno che l'India mantenga e faccia crescere questi tassi di aumento della produzione agricola dipende da molti e complessi fattori, come l'energia con cui nuovi provvedimenti saranno presi dal governo e l'atteggiamento con cui li accoglieranno gli agricoltori.

La distribuzione della piovosità in India, come altrove, è un fattore determinante nella scelta delle colture e delle tecniche agricole da impiegare. Le regioni che ricevono da 1000 a più di 2000 millimetri di pioggia per anno sono adatte alla risicoltura (*si veda l'illustrazione di pagina 112*). Nella maggior parte del paese, dal 75 al 90 per cento della piovosità annuale è concentrato nei quattro mesi di giugno, luglio, agosto e settembre, quando il clima indiano è sotto l'influenza delle correnti monsoniche sudoccidentali apportatrici di piogge. Soltanto le estreme zone settentrionali e meridionali del paese ricevono una distribuzione quasi uniforme di piogge annuali. Un problema vitale per l'India è la gestione delle risorse idriche, per le annate in cui il monsone non fornisce l'acqua necessaria alle colture multiple.

La produzione di cereali in India è salita, in media, un po' più rapidamente della popolazione da quando il paese ha acquistato l'indipendenza nel 1947. Tuttavia, poiché l'agricoltura indiana dipende in modo determinante dalle piogge monsoniche, si sono avuti dei regressi negli anni di scarsa piovosità, specialmente nelle annate 1965-1967 e 1971-1973. La curva con l'indicazione «produzione corretta di cereali» mostra la produzione che si sarebbe verificata in base all'introduzione di fattori noti come manodopera, fertilizzanti, sementi selezionate ecc., in condizioni meteorologiche normali. «Commercializzazione dei cereali» è pure una curva calcolata per rappresentare la disponibilità di cereali destinati alla vendita nei centri urbani dopo che ne è stata dedotta la quantità consumata dalla popolazione rurale. Lo sviluppo industriale dell'India dopo l'indipendenza è stato anche più straordinario dei risultati ottenuti nell'agricoltura, come dimostra l'indice della produzione industriale. In futuro, tuttavia, l'India dovrà quanto meno modificare la sua strategia di sviluppo industriale, se vorrà finanziare le opere di irrigazione e gli altri servizi che si presentano indispensabili a un adeguato progresso dell'agricoltura.

Uno dei maggiori problemi che devono essere affrontati dal coltivatore, dallo studioso di statistiche agricole e dal pianificatore dello sviluppo consiste nel decidere se un determinato mutamento tecnologico o strategico sia o meno remunerativo. La semplice variazione dell'uno per cento nel tasso di aumento della produzione di cereali può avere ripercussioni immense sulla dieta alimentare minima di milioni di persone e nel determinare il successo di una strategia di sviluppo. Ma come è possibile rilevare statisticamente una variazione dell'uno per cento nella tendenza generale, quando, come nel caso dell'India, la produzione ha subito variazioni di oltre il 10 per cento annuo in sei degli ultimi 25 anni e variazioni di oltre il 5 per cento annuo in più della metà di tale periodo? In tali condizioni di irregolarità, qualsiasi giudizio su una variazione di tendenza non può basarsi sui metodi statistici usuali. La soluzione migliore è quella di confrontare le annate con condizioni meteorologiche analoghe e supporre che qualsiasi differenza nella produzione sia attribuibile alla politica e allo sforzo degli uomini.

L'incertezza in cui si trova lo studioso di statistica rappresenta ovviamente un problema ancora più grave dal punto di vista del singolo coltivatore. È già abbastanza difficile giudicare a posteriori se una innovazione sarà remunerativa; ma giudicarne l'opportunità a priori è praticamente impossibile. Le conseguenze di un errore del genere possono essere non soltanto molto gravi, ma possono anche sommarsi agli effetti imprevedibili delle condizioni meteorologiche. Il rischio si eleva ulteriormente se il coltivatore non ha familiarità con i consigli diffusi dalle stazioni sperimentali agricole e se il tecnico che trasmette i consigli è nuovo del mestiere.

Anche per il pianificatore le fluttuazioni da un anno all'altro della produzione agricola sono motivo di incertezza quando deve decidere il livello delle importazioni dall'estero o, eventualmente, l'entità delle scorte per far fronte agli effetti della carestia. È il caso di aumentare il livello dell'occupazione, e quindi della domanda alimentare, dando impulso a una strategia basata sullo sviluppo agricolo, sapendo che può essere politicamente irreversibile? La riduzione delle incertezze che possono costituire la rovina dell'agricoltura richiede enormi investimenti. È possibile che solo l'entità degli investimenti richiesti dalle incertezze meteorologiche sia tale da dissuadere il pianificatore dal seguire una strategia basata sull'agricoltura, in favore di un altro tipo di strategia che è più sicura, ma che garantisce un incremento meno rapido dell'occupazione e del reddito nelle classi più povere con un aumento conseguentemente più lento nella domanda di alimenti.

Nei paesi più progrediti, sono molti coloro che non hanno ancora compreso come la domanda di alimenti nei paesi in via di sviluppo non sia rigidamente legata alle leggi della biologia umana. Per paesi come l'India la domanda è in gran parte il prodotto di politiche che determinano la scelta di una strategia di sviluppo e il tasso di aumento dell'occupazione e quindi di quella parte del reddito complessivo che è nelle mani delle classi povere. I lavoratori, che in India occupano il 20 per cento inferiore della scala dei redditi, spendono il 60 per cento di qualsiasi aumento dei loro redditi personali in cereali e l'85 per cento

nell'acquisto di prodotti agricoli in genere. La parte di popolazione che occupa il 10 per cento superiore della scala dei redditi spende in cereali soltanto il 2 per cento degli incrementi di reddito. Quindi la domanda effettiva di alimenti dipende in maniera significativa da chi riceverà più reddito. Qualsiasi strategia di sviluppo che si basi su un aumento di occupazione deve appoggiarsi su una strategia agricola soddisfacente.

Le elezioni indiane del 1971 sono significative a tale proposito. In esse Indira Gandhi riportò una massiccia vittoria con lo slogan *garibi hatao* (aboliamo la povertà). Era uno slogan appropriato, per lo meno in linea di principio, alla situazione di quell'anno, in cui per le condizioni meteorologiche favorevoli e la rivoluzione verde il raccolto si presentava particolarmente abbondante. Non si è dimostrato invece adatto alla realtà dei successivi cinque anni, quando il maltempo e diversi fattori esterni contribuirono a determinare una stasi dell'agricoltura e quando la brusca caduta degli aiuti dall'estero frenò lo sviluppo anche in altri settori dell'economia.

Si presenta quindi un dilemma. Da un lato, qualsiasi strategia di sviluppo orientata verso la riduzione della povertà deve basarsi, almeno per un paese delle dimensioni dell'India, sullo sviluppo accelerato del settore agricolo. E tale sviluppo deve essere salvaguardato dalle fluttuazioni meteorologiche con un massiccio investimento che assicuri la possibilità dell'irrigazione e con la certezza di poter ricorrere a rifornimenti di cereali dall'estero o a scorte nazionali (con il conseguente rinvio nel mitigare la povertà, nel periodo in cui si accumulano le riserve). Una strategia diretta ad alleviare la povertà implica un compromesso politico e una ristrutturazione della base del potere politico che non è facilmente reversibile al mutare delle condizioni meteorologiche.

D'altro lato, un impegno in favore dell'agricoltura richiede lo stanziamento di mezzi su scala così vasta da escludere il ricorso a qualsiasi altra strategia. Alla fine degli anni cinquanta e all'inizio degli anni sessanta, l'India preferì non compromettersi totalmente con l'agricoltura. La scelta di una politica di sviluppo basata sull'agricoltura dipenderà ora da quale sarà l'opinione predominante sulle potenzialità di successo dell'agricoltura; dall'entità dell'appoggio che la comunità mondiale intenderà dare alla realizzazione del potenziale agricolo indiano e all'adozione di garanzie contro le avversità meteorologiche; dal fatto che l'India consideri che l'integrità e la dignità nazionale risiedano nella mitigazione della povertà o invece nel potenziamento dell'industria pesante; dal fatto che il potere politico continui a basarsi su una coalizione tra alti funzionari molto bene organizzati e gli interessi dell'alta finanza o faccia ricorso alle meno organizzate ma più numerose classi povere. Il tasso di crescita della produzione alimentare dipende quindi dall'interazione di una decisione politica di base e di una scelta di strategia globale di sviluppo. Soltanto quando saranno prese queste decisioni, diventerà significativo dal punto di vista operativo discutere la strategia agricola nei particolari.

Gli elementi indispensabili della «rivoluzione verde» in India sono i fertilizzanti inorganici, l'irrigazione e nuove varietà di cereali ad alta produttività. L'agricoltura indiana è sempre dipesa strettamente dall'irrigazione. Anche nel 1950 quasi un ettaro su cinque del territorio coltivato a cereali era irrigato; oggi l'irrigazione riguarda un ettaro su quattro. Negli Stati Uniti meno del 5 per cento di tutto il territorio coltivato necessita di irrigazione. Tra il 1959 e il 1974 l'impiego di fertilizzanti inorganici in India è salito del 19 per cento all'anno. In India si impiega per ettaro una quantità di fertilizzanti che è pari circa a un settimo di quella impiegata negli Stati Uniti.

Il ruolo potenziale dell'assistenza straniera e di altri fattori esterni nella scelta di una strategia di sviluppo viene chiarito anche dagli avvenimenti di questo periodo. Nel 1965, gli aiuti dall'estero rappresentavano più del 20 per cento dell'investimento lordo dell'India. Nel 1972 quell'aiuto era sceso a zero in termini di trasferimenti di risorse nette effettive, con una conseguente rapida caduta degli investimenti e delle entrate pubbliche. Dopo il 1972 l'entità complessiva degli aiuti dall'estero aumentò nuovamente, ma in proporzione minore dell'enorme aumento del debito per le importazioni di derrate alimentari e di petrolio causato dall'ascesa dei prezzi. Di conseguenza, proprio quando i raccolti erano scarsi, le risorse per il finanziamento dell'importazione di derrate alimentari e di beni necessari allo sviluppo si ridussero drasticamente. A complicare le cose, le scorte di cereali accumulate al primo esplodere della rivoluzione verde furono spazzate via dalla temporanea ma pesante pressione di circa 10 milioni di profughi del Bangla Desh, dall'enorme aumento di prezzi provocato dall'ingresso dell'URSS nei mercati mondiali dei cereali nel 1973 e dalla siccità del 1974. Non c'è da stupirsi che Indira Gandhi non abbia potuto mantenere le sue promesse e abbia dovuto riesaminare la base del suo programma politico del 1971.

Agricoltura e reddito non sono soltanto legati fra loro, ma sono anche in stretta relazione con l'aumento della popolazione. Specialmente nei paesi sviluppati molti ritengono tuttavia che il modo più semplice, per un paese come l'India, di controllare la gara cibo-popolazione consista semplicemente nel ridurre il tasso di fertilità della popolazione. È stato provato però che la diminuzione degli indici di natalità è funzione della partecipazione più o meno ampia della popolazione ai benefici economici e sociali delle comunità. E, per le ragioni dette, questa partecipazione dipende dalla misura in cui lo sviluppo agricolo può essere accelerato onde soddisfare la domanda alimentare associata all'aumento dell'occupazione.

Si è visto che nei sistemi economici a vasta partecipazione popolare come quelli vigenti a Taiwan, Cina, Sri Lanka (già Ceylon) e nello stato di Kerala in India, gli indici di natalità discendono più rapidamente e a livelli inferiori di reddito medio, di quanto non fosse prevedibile in base alle esperienze dell'Europa occidentale e degli Stati Uniti. Sebbene si debba riconoscere che le campagne per la pianificazione familiare sono di grande aiuto, non vi sono ragioni convincenti per supporre che, da sole, possano risolvere il problema, anche se ricorrono a forme di persuasione sottili (e non tanto sottili). Di qui il paradosso: attualmente è necessario aumentare la produzione di alimenti perché si riduca il tasso di natalità, il quale a sua volta ridurrà la domanda successiva di aumento della produzione alimentare.

I fattori determinanti per la produzione dei cereali sono la terra, la manodopera, l'irrigazione e i fertilizzanti. Le curve mostrano come può essere distribuito l'aumento di produzione indiana di cereali in relazione a questi quattro fattori. Lungo l'intero periodo di 29 anni trascorso dall'indipendenza, il fattore più consistente dell'incremento produttivo di cereali è stato il crescente impiego di manodopera, un incremento reso possibile, ma anche necessario, dall'aumento della popolazione del paese. Nell'ultimo decennio, tuttavia, l'uso intensificato di fertilizzanti inorganici ha dato alla produzione di cereali un impulso pari a quello ottenuto con l'aumento di manodopera negli ultimi vent'anni. L'apporto dato dalle varietà di cereali ad alta produttività si manifesta principalmente nella curva dei fertilizzanti. La somma delle quattro curve corrisponde alla curva «produzione corretta di cereali» dell'illustrazione di pagina 115.

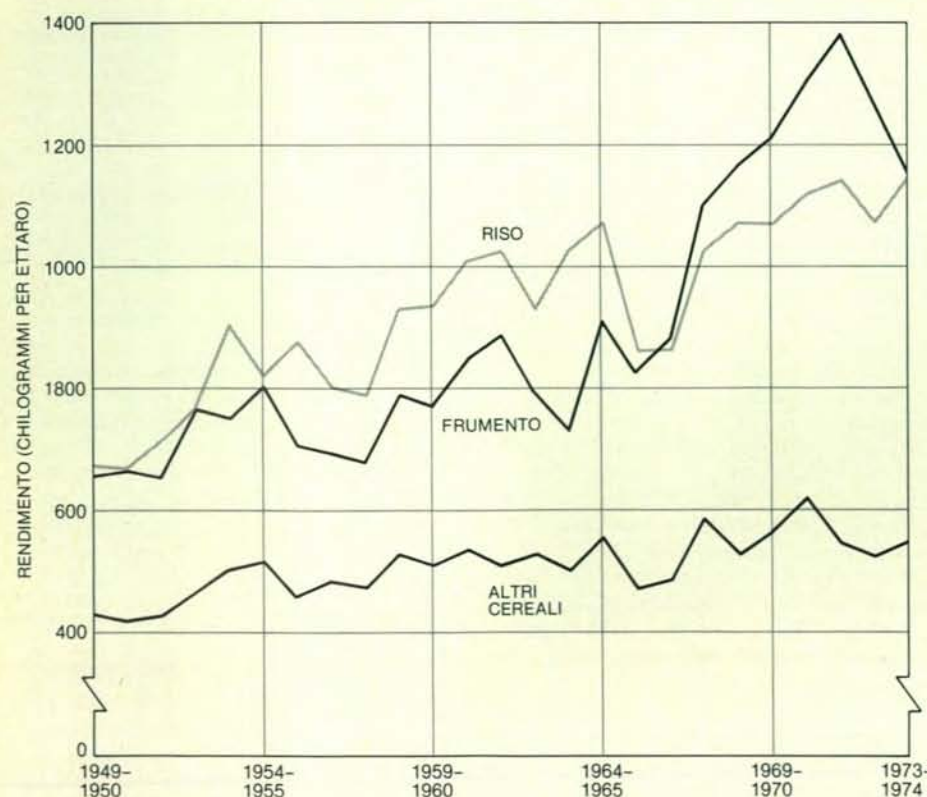
Dopo più di vent'anni di graduale evoluzione, in India e altrove sono chiaramente visibili le grandi linee di una strategia rurale riuscita. Meno chiare sono le modalità della sua applicazione e i possibili successi quantitativi.

Si può affermare con una certa attendibilità che l'India ha la possibilità di accelerare il suo sviluppo agricolo fino a un tasso annuale del 3,5-4 per cento. A dir il vero tali calcoli lasciano un margine sufficientemente ampio per errori e inadeguatezze. Enumerare i requisiti per tale sviluppo significa far luce sui rischi e sul dilemma di fondo. Queste condizioni si possono raggruppare in quattro categorie: massicci investimenti nell'irrigazione, in campo energetico e nei trasporti; forti aumenti nell'uso dei fertilizzanti; organizzazione efficiente della ricerca in campo agricolo e miglioramenti di vasta portata nelle istituzioni atte a promuovere lo sviluppo rurale (ivi compresa la partecipazione, di difficile coordinazione, del piccolo coltivatore). Su scala regionale la chiave di un successo a breve scadenza è riposta per gran parte negli stati della fertile pianura del basso Gange, nella zona orientale del paese. Si tratta, però, di quegli stati le cui basi istituzionali sono meno sviluppate, quanto a incremento agricolo, rispetto alla media dell'intero paese. Politicamente la chiave del successo è nella decentralizzazione del potere decisionale, con tutti i rischi connessi alla formazione di nuove basi per il potere politico. La necessaria riassegnazione delle risorse provocherà un indebolimento nei legami politici con i gruppi tradizionali, creando allo stesso tempo la possibilità di azioni di sostegno da parte di nuovi gruppi. Non fa meraviglia che il consiglio semplicistico degli osservatori stranieri per accrescere la produzione (ad esempio «Fissate prezzi adeguati») sia considerato con disdegno da coloro che lottano con difficoltà effettive per ottenere lo sviluppo dell'agricoltura indiana.

Lo sviluppo accelerato dell'agricoltura dell'India dipende fondamentalmente dalla creazione di nuove varietà di piante da coltura di alta produttività. Queste a loro volta daranno i massimi risultati soltanto se si assicurerà loro la quantità necessaria di acqua e di fertilizzanti. Il trasporto dei fertilizzanti e degli altri fattori che potenziano la produzione, così come la maggior produzione agricola ottenuta, esigeranno altri investimenti in mezzi di trasporto e strade.

Il rapido aumento della produzione cerealicola sul finire degli anni sessanta fu ottenuto in gran parte con l'estensione dell'irrigazione. Ciò richiese forti investimenti non soltanto in opere di irrigazione tradizionali, ma anche in energia elettrica per l'alimentazione delle pompe indispensabili all'irrigazione delle fertili zone nordoccidentali. Analogo miglioramento agricolo si può estendere verso est, nella pianura del Gange, con l'adozione di nuove varietà di riso ad alta produttività, sempre che sia possibile attingere alle abbondanti risorse idriche sotterranee per integrare le piogge monsoniche. Se si assicura la disponibilità idrica, si può effettuare una coltura irrigata di frumento dopo ogni raccolto di riso. Questo procedimento è già avviato e dà prova delle sue possibilità, ma la via da percorrere è ancora lunga. Gli investimenti supplementari necessari saranno addirittura superiori a quelli effettuati sul finire degli anni sessanta. Perfino in quel periodo forti quantità di produzione potenziale di frumento andarono perdute per scarsità di energia elettrica, specie nelle annate aride, quando la mancanza d'acqua ridusse la produzione di energia elettrica necessaria ad alimentare le pompe di irrigazione.

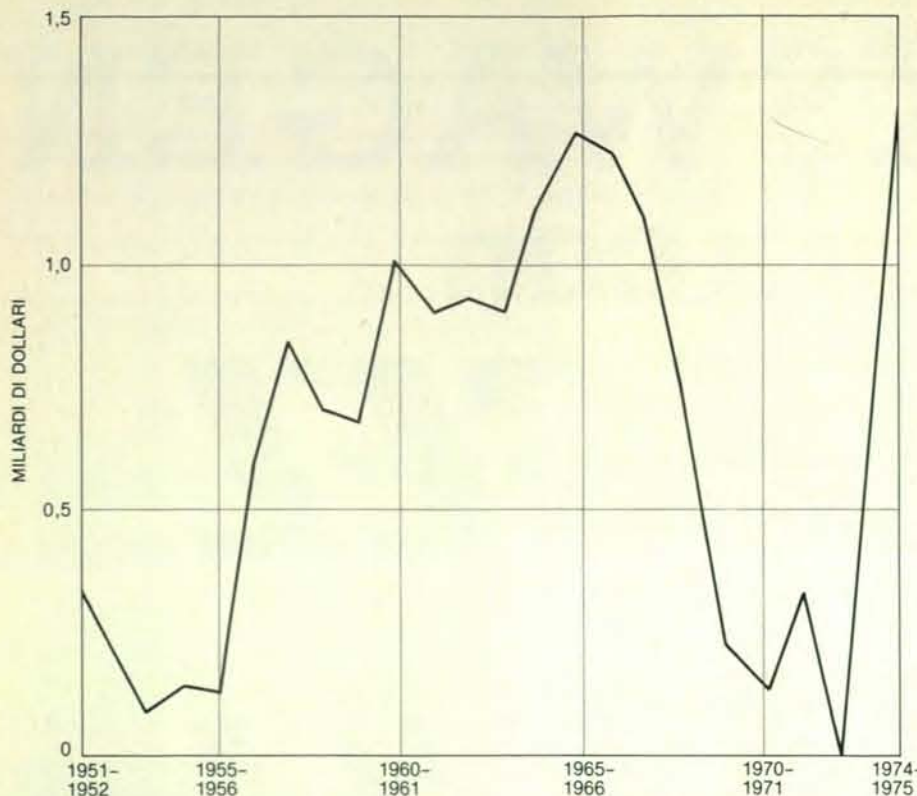
Per ottenere uno sviluppo accelerato della produzione agricola, sono anche necessari enormi quantità di fertilizzanti: incrementi annuali dal 15 al 20 per cento, un aumento da 200 000 a 400 000 tonnellate all'anno solo per l'azoto, corrispondenti a centinaia di milioni di dollari all'anno, con interessi composti che raggiungono cifre da vertigine. Un investimento così straordinario in fertilizzanti può risultare incompatibile con il resto della strategia di sviluppo agricolo e a maggior ragione con una strategia basata sullo sviluppo industriale che assorbe molto capitale. L'alternativa di importare fertilizzanti solleva tutti i difficili problemi politici causati dalla dipendenza da fonti straniere di rifornimento. È dall'enorme complessità di tali considerazioni che sorgono i dilemmi dello sviluppo. Raggiungere alti indici di aumento nella produzione agricola non vuol dire soltanto conoscere il modo per ottenere un buon raccolto; vi sono problemi di indipendenza nazionale, supposizioni sul

La produzione indiana di riso e di frumento è andata aumentando più rapidamente di quella degli altri tipi di cereali. Il marcato aumento della produzione di frumento è il risultato dell'impiego di varietà altamente produttive. L'introduzione di nuove varietà di riso è stata più lenta anche perché alcune di esse richiedono un adattamento alle condizioni eterogenee del paese.

Il confronto fra le rispettive produzioni mostra che il riso e il frumento sono in testa agli altri cereali. Durante il periodo di 24 anni considerato, il raccolto del riso ha avuto un incremento annuo chiaramente costante di circa il 3 per cento. Non vi fu un miglioramento notevole nei raccolti di frumento finché non apparvero le nuove varietà selezionate sul finire degli anni sessanta. La brusca caduta di produzione del frumento dopo il 1972 fu dovuta alla scarsità di fertilizzanti combinata con la scarsità di acqua per l'irrigazione. La scarsità di quest'ultima fu in gran parte da attribuire a mancanza di energia elettrica per le pompe. La produzione degli altri cereali è molto inferiore a quella di frumento e di riso e sarà difficile migliorarla in futuro.

volume di aiuti che ci si può attendere da altri paesi e brusche svolte nell'organizzazione politica esistente. Tutto dipende dalla strategia di sviluppo adottata.

Se il successo agricolo, in India come altrove, dipende fondamentalmente dalle nuove varietà di piante da coltivare, è evidente che esse devono essere selezionate nel paese a cui sono destinate. In generale non è possibile acclimatarle partendo da condizioni ambientali tanto diverse come quelle della California, dello Iowa, del Messico o delle Filippine. I contadini indiani hanno sviluppato una produzione e sistemi di immagazzinamento molto efficienti, che ben si adattano alle grandi differenze ambientali che si riscontrano in India. Il successo di un mutamento si otterrà non modificando la mentalità prudente e intuitiva dei contadini, ma modificando l'ambiente entro il quale essi maturano le loro decisioni. Per ottenere questo risultato occorre dar vita a complesse strutture istituzionali, che consentano la coesistenza di ricerche e di servizi a livello locale. Sul finire degli anni cinquanta notevoli progressi furono compiuti in questo senso, con l'assistenza della Rockefeller Foundation, che applicò le esperienze acquisite in Messico e in altri paesi. Le strutture istituzionali necessitano di un ulteriore consolidamento e di un continuo scambio di informazioni con centri avanzati come l'International Rice Research Institute (IRRI) delle Filippine. Sfortunatamente le strutture sono ancora assai precarie in quella parte dell'area risicola che possiede il maggior potenziale fisico immediato.

Il perfezionamento di una politica destinata a diffondere nuove tecnologie agricole richiede un sistema globale di istituzioni per distribuire fertilizzanti, per introdurre nuovi metodi, per concedere crediti, per migliorare la conoscenza delle varie regioni e organizzare il mercato dei prodotti agricoli. Tali istituzioni devono essere condotte da personale specializzato ed è difficile che siano in grado di funzionare con efficacia se i contadini non sono sufficientemente istruiti, non solo per comprendere e apprezzare ciò che le istituzioni possono offrire, di modo che sia possibile attuarlo con efficacia, ma anche per esercitare la loro influenza sulle istituzioni stesse e sulle persone che le dirigono, educate in base a criteri accademici. Quindi un sistema educativo di grande diffusione costituisce un importante elemento per lo sviluppo agricolo. Sebbene il numero dei maschi di età compresa tra i sei e i dieci anni iscritti alle scuole primarie sia aumentato dal 60 al 99 per cento tra il 1951 e il 1965 e la percentuale delle femmine iscritte sia passata dal 15 al 56 per cento, la base complessiva dell'istruzione è ancora ristretta e continua ad agire come un freno sullo sviluppo della produzione agricola.

L'attuazione di un mutamento determinante è complicata dal fatto che le aziende agricole che occupano un quarto del territorio rurale indiano hanno una

Gli aiuti stranieri all'India sono aumentati piuttosto rapidamente dalla metà degli anni cinquanta alla metà degli anni sessanta, poi sono scesi in modo brusco. Le curve di questo diagramma rappresentano i trasferimenti netti di risorse straniere all'India, calcolati come la differenza tra quello che l'India doveva pagare per le importazioni e i profitti ricavati dalle sue esportazioni. La brusca ascesa degli ultimi anni è dovuta al forte rincaro del petrolio e dei fertilizzanti.

superficie inferiore a due ettari. I piccoli coltivatori diretti sono poveri e restii ad applicare nuove tecniche. Tuttavia, se si riesce a persuaderli a effettuare innovazioni e li si rassicura attraverso istituzioni adeguate, essi si servono in maniera efficace dei fertilizzanti, dei pesticidi e dell'acqua per lo meno quanto gli agricoltori che hanno tenute più vaste. Comunicare il messaggio della nuova tecnologia ai piccoli coltivatori e integrarli nelle istituzioni creditizie, commerciali e didattiche richiede pure un costoso impiego di personale specializzato.

L'India ha fatto molta strada in vent'anni, tanto nella creazione di istituzioni dedicate all'agricoltura, quanto nella sperimentazione di uno sviluppo comunitario, con l'avvio dell'Intensive Agricultural District Program e la Small Farmers' Development Agency, con la fondazione di società cooperative di credito, di banche rurali e altro. Il notevole successo di queste iniziative fornisce sicuri motivi di ottimismo. Vi è tuttavia ancora molto lavoro da compiere, che richiederà tempo e una cauta selezione delle necessità prioritarie negli alti livelli della società. Il successo degli sforzi già compiuti deve essere considerato nella prospettiva del bassissimo livello da cui si è partiti all'epoca dell'indipendenza e la misura dello sforzo realizzato indica quanta altra energia sia necessaria per concretare il grande potenziale residuo dell'agricoltura indiana.

La regione che possiede probabilmente il maggior potenziale di sviluppo agricolo è la pianura del Gange, dove nel 1970-1971 quattro importanti stati hanno prodotto il 22 per cento dei cereali dell'India con un impiego di fertilizzanti azotati pari al solo 10 per cento del consumo dell'intero paese. La regione è ricca di acque sotterranee. Il principale freno allo sviluppo agricolo è dovuto alla mancanza di adeguate istituzioni del tipo descritto.

Nel Bengala occidentale, uno stato chiave di questa regione, la proprietà terriera è caratterizzata dall'esistenza di un gran numero di piccoli proprietari e questo ostacola senza dubbio lo sviluppo delle istituzioni essenziali alla modernizzazione dell'agricoltura. In genere ciascun proprietario possiede in media quattro ettari di terreno, sul quale lavorano tre o quattro fittavoli e le loro famiglie. Questi proprietari sono naturalmente numerosissimi. In nessuna democrazia di tipo occidentale né tanto meno in un regime più centralizzato, è pensabile che si possa sottovalutare l'importanza di una classe sociale con tanto peso politico. È possibile dunque riformare il sistema con una legislazione che stabilisca le norme di affittanza e ne determini i canoni? È possibile una riforma agraria più radicale? È ipotizzabile un aumento della produzione in assenza di riforme? Se la produzione aumenta, potranno le tensioni sociali a essa connesse esasperarsi al punto da turbare la stabilità politica necessaria per la continuazione del processo di sviluppo? Si tratta di problemi noti a chi esercita il potere politico. Le risposte sono facili per coloro che non sono responsabili delle conseguenze. Da tale complessa situazione nasce una incertezza che è tanto maggiore quando le risorse sono così limitate e i rischi politici così grandi.

Ma al di là delle implicazioni politiche, esiste il dubbio di quale sia il sistema migliore per creare le istituzioni: se mediante il potenziamento delle istituzioni che hanno dato miglior prova in altri stati oppure, mediante un processo più lento ma più soddisfacente, riformando le strutture esistenti nell'ambito dello stato. Se si sceglie questa seconda soluzione, l'operazione deve svolgersi con la piena consapevolezza che le attuali strutture sono insufficienti proprio a causa delle divergenze negli attuali rapporti fra politica e istituzioni.

Di fronte a tanta incertezza e complessità, quali sono le prospettive circa il tasso di accrescimento dell'agricoltura indiana? Se la diffusione dell'irrigazione avviene con lo stesso ritmo registrato nel periodo 1961-1968 e se l'impiego dei fertilizzanti cresce a un tasso pari a quello che si è avuto nello stesso periodo, se i ricercatori metteranno a punto nuovi metodi e varietà, specie per quanto riguarda il riso, essenziali a un uso vantaggioso dell'irrigazione e dei fertilizzanti, se avranno successo gli sforzi per giungere fino al piccolo coltivatore, allora è ragionevole ipotizzare un tasso di aumento di circa il 5 per cento all'anno. Tenendo conto che il tasso di crescita del 3,3 per cento conseguito nel periodo 1965-1971 meritò di chiamarsi «rivoluzione verde», il 5 per cento rappresenta una prospettiva veramente notevole. Se si formula un preventivo un po' più prudente della risposta ai fattori produttivi introdotti, prendendo come esempio il rendimento effettivo ottenuto negli anni cinquanta, il tasso di incremento agricolo dovrebbe ancora giungere al 4 per cento. Le quantità supposte per ciascun fattore sono ragionevoli. Lo è forse meno attendersi che la loro introduzione avvenga in modo simultaneo. Tenendo conto delle eventuali deficienze, sembra una prospettiva sicura un tasso di crescita del 3,5-4 per cento. Si tratta di un valore compatibile con una strategia globale che consenta una crescita accelerata dell'industria e un modello di sviluppo a larga partecipazione. Un aumento dello 0,5 per cento nella produzione di cereali può sembrare esiguo, ma non lo è se si applica a un settore così vasto e importante oppure quando si considerino le conseguenze che può avere sul concreto miglioramento dell'alimentazione e sulla riduzione delle calamità che affliggono l'uomo.

Si può osservare che il maggiore o il minor grado di accelerazione della produzione agricola indiana è in gran parte una scelta politica che riguarda questioni di ordine interno ed esterno. Vi sono quattro aspetti di tale problema che dipendono dall'influenza straniera. Il primo riguarda l'assistenza, sotto forma di rifornimenti di cereali e di concessioni di credito, che può assicurare scorte minime di cibo per fronteggiare la variabilità delle condizioni meteorologiche e i ritardi nella produzione. Tale sistema di previdenza alimentare, sostenuto dalla comunità internazionale, può favorire lo spostamento verso una strategia rurale basata sul pieno impiego.

Il secondo aspetto è rappresentato dall'assistenza tecnica straniera nel campo della ricerca, dell'istruzione e in molti altri settori dello sviluppo agricolo; tali interventi sono in grado di limitare la riduzione di incremento che si avrebbe altrimenti per scarsità di personale qualificato. Il livello di assistenza deve essere accuratamente determinato, perché lo scopo è quello di sollecitare una immediata esecuzione delle opere necessarie senza provocare, a lungo termine, ritardi nella capacità dell'India di assumerne in proprio l'attuazione. Poiché l'India possiede ora istituzioni agricole di base e un personale amministrativo specializzato e ben preparato, essa è in grado di assorbire con efficacia l'assistenza che le si presta in settori ben definiti.

Un terzo aspetto della questione è che l'assistenza economica su vasta scala non soddisfa soltanto le esigenze di capitali per lo sviluppo agricolo, ma va incontro anche alla necessità fondamentale di valuta estera mentre l'economia indiana si va adattando a una situazione più favorevole all'esportazione di prodotti industriali di merci lavorate che richiedono un forte impiego di manodopera, cosa implicita nella nuova strategia.

Il quarto, e forse il più importante aspetto, è l'esistenza di una mentalità internazionale che dia la priorità assoluta agli aspetti umani dello sviluppo piuttosto che all'ottenimento di vantaggi politici immediati nell'arena della politica delle grandi potenze. Sebbene a lungo termine la strategia impostata sullo sviluppo rurale offra possibilità maggiori di altre strategie che si basino sullo sviluppo industriale e urbano, a breve termine essa comporta una maggior dipendenza dall'estero per derrate alimentari, fertilizzanti, tecnologia e capitali. Indubbiamente il brusco declino dell'aiuto straniero netto all'India da 1,2 miliardi di dollari nel 1965 (2,63 dollari pro capite) fino praticamente a zero nel 1972 contrasta con l'opinione di una maggior dipendenza dai paesi occidentali e quindi indica l'inizio di un processo di sviluppo più prudente, di base più ridotta e rivolto alla valorizzazione delle risorse interne. Il successo politico viene di solito valutato nei risultati a breve termine e gli uomini politici sovente adottano strategie di sviluppo che diano massimo rilievo a una riuscita immediata, a discapito di un successo a lungo termine. Prima di giudicare quelle dell'India, gli altri paesi dovrebbero esaminare le loro scelte prioritarie sia a breve sia a lunga scadenza. Il punto di vista dei *leader* indiani non è il solo che richiede di essere verificato.

GIOCHI MATEMATICI

di Martin Gardner

Divertimento e impegno col calcolatore tascabile

Se poteste salire su di una macchina del tempo e ritornare all'antica Atene per fare visita ad Aristotele, che cosa pensate che lo stupirebbe di più tra gli oggetti che potreste portare in tasca? Io penso un calcolatore tascabile. Il suo sistema di numerazione araba, i suoi diodi che emettono luce, i suoi circuiti miniaturizzati isomorfi alla logica di Boole (si ricordi che Aristotele è l'inventore della logica formale) e soprattutto la sua velocità e potenza lo affascinerebbero più di ogni altra cosa.

Le rivoluzionarie conseguenze di questi piccoli e miracolosi arnesi cominciano a essere evidenti solo ora. Tra ingegneri e scienziati il regolo calcolatore è ormai diventato obsoleto come l'abaco. È triste pensare ai matematici dei secoli passati che spesero anni a calcolare logaritmi e funzioni trigonometriche. Oggi un ingegnere impiega meno tempo a calcolare tali numeri con un calcolatore tascabile che a cercarli in un libro o a fare un'approssimazione col regolo calcolatore.

Tra gli insegnanti di matematica, alla disputa sulla «nuova matematica» si è sostituita quella su come si debbano usare i calcolatori tascabili nell'istruzione elementare. Quasi tutti sono d'accordo che a livello di scuola superiore e di università il calcolatore rappresenterà un grande aiuto. «Non è degno di un uomo d'ingegno sprecare ore nella fatica del calcolo come uno schiavo.» scrisse Leibniz (che inventò un calcolatore meccanico). Liberati da questo ingrato lavoro, gli studenti saranno sicuramente più agevolati nello studiare i concetti e le strutture basilari della matematica. Quando un matematico rivela la propria professione a uno sconosciuto, deve attendersi l'inevitabile osservazione: «Non so neppure tenere i conti del mio libretto degli assegni», e ciò non fa certo onore alla nostra educazione. Parlereste a un poeta delle vostre difficoltà ortografiche?

Gli insegnanti stanno discutendo non sul valore fondamentale del calcolatore tascabile, ma su quando debba essere introdotto. Si è d'accordo sul fatto che questo non debba avvenire finché un bambino non abbia imparato a fare l'addizione, la sottrazione, la moltiplicazione e la divisione sulla carta. In seguito non sembra che ci sia nessuna buona ragione per non permettere agli studenti di portare un calcolatore in classe o addirittura di usarlo agli esami. In ogni caso la rivoluzione non si può arrestare. Si parla già di avere calcolatori incorporati nei banchi come i vecchi calamai.

L'appassionato di giochi matematici che compri anche uno dei calcolatori più economici, si meraviglierà immediatamente di aver potuto farne a meno. Si consideri un criptaritmo come

```
 THIS
   IS
**TOO
HARD*
******
```

Pochi compiti potrebbero essere più noiosi che risolvere questo rompicapo senza un calcolatore. È evidente che *S* deve essere 2, 3, 4, 7, 8 o 9 (altrimenti *S* e *O* non sarebbero distinti) e *I* non può essere 0,1 o uguale a *S*. Si può facilmente determinare, senza servirsi del calcolatore, che *IS* deve essere 72, 57, 68, o 79. Da qui in avanti, però, non ci sono piste battibili e si ha bisogno di un calcolatore per arrivare al possibile valore di *T* e *H* in un tempo ragionevole. (Ci atteniamo alle convenzioni consuete: ogni lettera sta per una sola cifra, lettere differenti stanno per cifre differenti, gli asterischi rappresentano una cifra qualsiasi e i numeri non cominciano con zero.)

I modi in cui i calcolatori tascabili destano interesse, sia nella matematica che nei giochi matematici, sono moltissimi e quindi toccherò solo alcuni punti principali. Se la macchina ha un tasto per la memoria che rende possibile immagazzinare le somme parziali di serie infinite convergenti, potrebbe essere di grande aiuto per avere una idea del limite prima di cercare di calcolarlo. Ad esempio si prenda questa serie inconsueta in cui i numeratori sono i numeri dispari nell'ordine naturale e i denominatori formano la progressione geometrica di ragione 2 avente 1 come primo elemento:

$$1/1+3/2+5/4+7/8+9/16+\ldots$$

Dopo ogni divisione si aggiunga il risultato alla somma precedente. La somma parziale dopo che si sono sommate 10 frazioni, è 5,95... La serie sembra convergere a 6. È quello il limite?

Si provi a introdurre un numero qualsiasi nel quadrante di lettura e poi a schiacciare ripetutamente il tasto della radice quadrata. Si vedrà che le radici convergono rapidamente a 1. Supponiamo, dopo ogni estrazione di radice quadrata, di raddoppiare il risultato prima di ricavare la nuova radice. Il limite è 2? No, è 4. Invece di raddoppiare, si moltiplichi ogni volta per *m*. Si dimostrerà che il limite è m^2. Si generalizzi ulteriormente estraendo ripetutamente radici *n*-esime (se la macchina può farlo) e moltiplicando ogni volta il risultato per *m*. Siete in grado di trovare e dimostrare la formula per il limite? (Devo questo problema a Don Morran.)

Parecchi libri sono stati scritti su giochi competitivi per due o più giocatori che fanno uso di calcolatori tascabili, ma pochi giochi usano la macchina per qualcosa che non sia un rapido calcolo. Il «*keyboard game*» (gioco della tastiera) di Lynn D. Yarbrough è una piacevole eccezione. Esso apparve nel numero speciale (gennaio 1976) dedicato ai giochi e ai rompicapo dell'interessante nuova rivista «Creative Computing», che è dedicata agli aspetti ricreativi ed educativi della scienza dei calcolatori. (La rivista viene pubblicata ogni due mesi da Ideametrics, P.O. Box 789-M, Morristown, N.J. 07960, e l'abbonamento costa $ 8 all'anno.)

Il «*keyboard game*» inizia in questo modo: il primo giocatore introduce un qualsiasi intero positivo, ad esempio 100. Il secondo giocatore schiaccia il tasto della sottrazione, poi quello di una cifra qualsiasi tra quelle disposte secondo una matrice di tre per tre (*si veda l'illustrazione della pagina a fronte*) e infine il tasto dell'uguale. Il gioco continua così: i giocatori sottraggono a turno delle cifre (escluso lo 0) finché un giocatore perde nel mettere in funzione il segno meno.

C'è una condizione che impedisce a questo gioco di essere banale. Di volta in volta, dopo la prima sottrazione, ogni giocatore deve scegliere un tasto adiacente (ortogonalmente o diagonalmente) a quello appena schiacciato. Quindi, se è stato giocato il 5, il giocatore successivo deve sottrarre una cifra qualsiasi tranne il 5. Se viene giocato il 4, il giocatore successivo deve limitarsi a 1, 2, 5, 7, e 8. Se viene giocato il 3, a 2, 5, 6, e così via.

Senza questa avvertenza, il primo giocatore può vincere facilmente scegliendo un multiplo di 10 come numero iniziale e sottraendogli poi la cifra a destra nel quadrante ogni volta che è il suo turno. Con l'avvertenza il gioco è divertente. Per di più ha una soluzione sorprendente. Risulta che il secondo giocatore, (quello che fa la prima sottrazione) può vincere sempre indipendentemente da quale sia il numero iniziale. Se il numero iniziale è maggiore di 15, vince schiacciando l'1 o il 3 (non importa quale) finché il totale non è tredici o un numero minore e poi continuando a giocare con attenzione. I lettori interessati possono consultare l'articolo di Yarbrough per la strategia completa e per varianti del gioco in cui sia ammesso lo 0.

Uno degli usi più curiosi del calcolatore a scopo di divertimento è quello di servirsene per elaborare trucchi magici, la maggior parte dei quali è del tipo ESP. Ecco una trovata che solitamente diverte molto i bambini. Si chieda a un bambino di introdurre 98765432 e di dividere per 8. Sarà abbastanza sorpreso dal risultato: 12345679. Le cifre sono in ordine tranne l'8, il divisore, che è misteriosamente scomparso.

Chiedete al bambino di dire la sua cifra preferita. Supponiamo che dica 4. Dite allora immediatamente: «Molto bene. Moltiplica il risultato precedente [12345679] per 36.» Allora sarà veramente sorpreso, vedendo che il numero ottenuto è 444444444 (nove 4 se il quadrante ne può contenere tanti). Il moltiplicatore da dare è sempre il prodotto di nove per la cifra detta. Il procedimento si comprende facilmente: 111111111/9 = 12345 679. Dato che 9 volte 12345679 fa 111111111, un moltiplicatore di 9*n* (dove *n* è una cifra) dà una riga di *n*.

Dividendo una riga di 1 per numeri interi diversi da 9 in modo che il quoziente non abbia resto frazionario, si ottengono altri «numeri magici». Ad esempio: 111111/7 = 15873. Moltiplicando 15873 per 7*n*, dove *n* è una cifra, si ottiene una riga di *n*. Ancora: 111111/33 = 3367. Si moltiplichi 3367 per 33*n* e si otterrà una riga di *n*.

Un gioco che chiamo Mistero delle notti arabe, perché è basato sulle proprietà di 1001, comincia col chiedere a una persona di pensare a un qualsiasi numero di tre cifre, *ABC*. Gli si chiede quindi di ripetere il numero in modo da ottenere *ABCABC* e di introdurre il numero di sei cifre ottenuto nel calcolatore. Mentre compie questa operazione giratevi in modo da non vedere il numero.

A questo punto dite: «Incomincio a sentire delle vibrazioni che mi suggeriscono che il numero è esattamente divisibile per il numero che porta sfortuna, il 13. Per favore dividi per 13 e dimmi se ho ragione.»

Il vostro compagno fa la divisione e sicuramente non trova resto.

«È strano - continuate - ma la mia potenza chiaroveggente mi dice che il numero che si può ora leggere sul calcolatore è esattamente divisibile per il numero che porta fortuna, l'11.» Fatta la divisione si vedrà che avevate ragione ancora una volta.

«Ora ho la netta sensazione - continuate - che il numero che compare sul calcolatore sia esattamente divisibile per un numero che porta ancor più fortuna, il 7.» Risulta che è proprio così.

Dite al vostro compagno di guardare bene il risultato ottenuto. È *ABC*, il numero pensato inizialmente.

Il gioco riesce sempre. Moltiplicando un numero di tre cifre *ABC* per 1001 si ottiene ovviamente *ABCABC*. Dato che i fattori primi di 1001 sono 13, 11 e 7, dividendo *ABCABC* per questi tre numeri si deve ottenere *ABC*.

Uno dei più vecchi e tuttora uno dei migliori indovinelli sui numeri è particolarmente interessante perché si basa su un famoso teorema che risale a un trattato di aritmetica scritto attorno al primo secolo da un matematico e poeta cinese di nome Sun-tsu (o Sun-tse). Uno dei problemi presentati nel trattato è quello di trovare il più piccolo numero naturale (intero positivo) tale che, quando è diviso per 3,5 e 7, dia come resto rispettivamente 2,3 e 2. Sun-tsu fornisce la risposta, 23, e una regola generale in versi, che egli chiama *t'aiyen* (grande generalizzazione), per risolvere il problema.

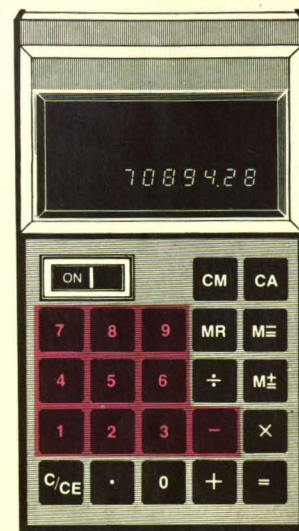
È difficile a credersi ma, pressappoco nello stesso periodo, un famoso matematico greco, Nicomaco di Gerasa, incluse nel suo trattato di aritmetica esattamente lo stesso problema. Per di più poneva il problema come un indovinello, in cui si chiede a una persona di pensare a un numero da 1 a 100, di dividerlo rispettivamente per 3, 5 e 7, e di indicare solo il resto di ciascuna divisione. La conoscenza dei tre resti mette in grado di individuare il numero scelto.

Un gioco identico, tranne che i divisori sono questa volta 5, 7 e 9 e il numero scelto varia da 1 a 315, compare nell'aritmetica medioevale di Leonardo Fibonacci, il matematico italiano da cui hanno preso il nome i numeri di Fibonacci. Giochi di questo tipo furono popolari per tutto il Medioevo e il Rinascimento. Si possono presentare con un numero qualsiasi di divisori a patto che essi siano numeri primi fra loro, (cioè non abbiano nessun divisore comune). (I divisori non è necessario che siano primi. Ad esempio possono essere 3 e 4 mentre il numero scelto varia da 1 a 12.) Dato che un calcolatore tascabile fa rapidamente il calcolo con divisori con più di una cifra, vediamo come si svolge il gioco con 7, 11 e 13 ossia i numeri portafortuna e portasfortuna. Il loro prodotto è 1001; possiamo allora chiedere tranquillamente a una persona di pensare un numero da 1 a 1001.

Il gioco fa più effetto se nessuno sa che state usando un calcolatore. Chiedete al vostro compagno di pensare a un numero minore di 1001, di dividerlo per 7 e dirvi il resto. Egli deve ripetere il procedimento altre due volte, dividendo il numero originale per 11 e quindi per 13 comunicandovi ogni volta il resto. Come si calcola il numero scelto?

Siano *a*, *b* e *c* i tre resti. Il numero scelto è il resto che si ottiene dopo aver fatto il calcolo seguente:

$$\frac{715a+364b+924c}{1001}$$

I tre coefficienti vanno ricordati a memoria o scritti su di una piccola striscia di carta incollata sul calcolatore. Questi sono i semplici passi da compiere:

Calcolatore e area per la sottrazione.

1. Mentre il vostro compagno sta dividendo il numero scelto per 7, introducete 715. Moltiplicatelo per il resto annunciato. Se il vostro calcolatore non ha un tasto di memoria, prendete nota del prodotto e anche dei due prodotti successivi in modo da poterli sommare più tardi. Se la vostra macchina ha una memoria che permette l'addizione a catena, introducete il prodotto nella memoria.

2. Mentre il vostro compagno sta dividendo il numero da lui scelto per 11, immettete 364. Moltiplicate per il resto annunciato e aggiungetelo al risultato precedente.

3. Mentre fa la divisione finale per 13, immettete 924. Moltiplicate per il resto annunciato e aggiungetelo alla somma precedente.

Il numero che compare ora sul vostro quadrante è uguale a quello scelto dal vostro compagno, modulo 1001. Se è mi-

Disposizione 3 per 3 per il «keyboard game».

nore di 1001 è il numero in questione. Se è maggiore, riducetelo al numero scelto sottraendogli ripetutamente 1001 finché il numero non scende sotto 1001.

Come è stata derivata la formula? La cosa si spiega meglio con un esempio; serviamoci allora della versione più semplice di Sun-tsu. I divisori sono $a = 3$, $b = 5$, $c = 7$, e il numero scelto non deve essere maggiore di 105.

Il coefficiente di a è il più piccolo multiplo di bc che sia maggiore di un'unità di un multiplo di a. Ci sono delle regole per trovare questo coefficiente, ma quando i divisori sono piccoli, come in questo caso, è facile ottenere il numero facendo delle prove. Semplicemente scorrete i multipli di bc (35, 70, 105,...) fino ad arrivare a un multiplo che dà resto 1 quando è diviso per tre. Il multiplo è 70.

Gli altri due coefficienti hanno forme analoghe. Il secondo coefficiente è il più piccolo multiplo di ac che sia maggiore di un'unità di un multiplo di b, ossia 21. Il terzo coefficiente è il più piccolo multiplo di ab che sia maggiore di un'unità di un multiplo c, ossia 15. Possiamo ora scrivere la formula:

$$\frac{70a + 21b + 15c}{105}$$

Il numero sotto la riga è abc. Questa antica versione del gioco (ha quasi 2000 anni) è quella oggi più popolare tra i matematici. Va bene per un numero da scegliere da 1 a 100 e la formula è abbastanza semplice da permettere, con la pratica, di fare i calcoli a mente. I passaggi da compiere a mente si possono semplificare rimpiazzando $70a$ con $-35a$, dato che -35 è uguale a 70 modulo 105. Questo procedimento mantiene inoltre il totale più basso, in modo che si richiedono meno sottrazioni di 105 per ottenere il numero scelto.

L'importante teorema che sta alla base di tali giochi si chiama Teorema del resto cinese, in onore a Sun-tsu, che si enuncia come segue: dato un insieme di numeri naturali primi fra loro maggiori di 1, (d_1, d_2,..., d_n), e un insieme corrispondente di numeri naturali (r_1, r_2,..., r_n), c'è un unico numero modulo x (dove x è il prodotto di tutti i numeri d) tale che, quando viene diviso per d_i da come resto r_i (mod d_i) per ogni valore di i.

Questo è uno dei più preziosi teoremi sulla congruenza e serve non solo per dimostrare teoremi più profondi, ma anche per risolvere problemi riguardanti i cicli solari, lunari e planetari. In *Number Theory and Its History*, Oysten Ore fornisce parecchie applicazioni del teorema del resto cinese a vecchi rompicapo come a una procedura sistematica per la giunzione dei cavi telefonici. Nel 1967 Elwyn R. Berlecamp si servì del teorema per sviluppare un rapido algoritmo per la fattorizzazione dei polinomi mediante calcolatore. (Utile riferimento è il paragrafo 4. 6. 2. di *Seminumerical Algorithms*, Vol. II di *The Art of Computer Programming*, di Donald E. Knuth.)

Un altro notevole teorema sui numeri che risale a Fibonacci, è la base di un altro indovinello proposto da Francis T. Miles. Scrivete su di un pezzo di carta i numeri 1, 6 e 8 e giratelo verso il basso in modo che nessuno possa vedere che cosa avete scritto. Qualcuno ora usa il calcolatore per generare tre cifre «casuali» secondo il metodo seguente. Si scrive un numero qualsiasi e sotto un altro numero qualsiasi. Sotto si mette la somma dei due numeri. Si aggiunge poi il terzo numero (la somma) al secondo per ottenere il quarto. Si continua in questo modo (aggiungendo ogni volta l'ultima somma al numero precedente, usando il calcolatore quando il numero diventa grande) finché non si hanno 20 numeri. Dite allora al vostro compagno di dividere l'ultimo numero per il precedente, o viceversa, se preferisce, e di prender nota delle prime tre cifre della frazione decimale: sono le tre cifre che avevate previsto.

Il gioco riesce perché in una successione di Fibonacci generalizzata, che è ciò che viene generando lo spettatore, il rapporto tra termini adiacenti tende al rapporto aureo, 1, 618033..., come limite. Non importa quale dei due numeri è il divisore e quale il dividendo, perchè il reciproco del rapporto aureo è.. 0,618033.

Nessun articolo sui giochi col calcolatore tascabile sarebbe completo senza fare cenno alla recente proliferazione di giochi bizzarri che sfruttano il fatto che la maggior parte delle cifre del quadrante assomigliano a lettere osservate rovesciate. Le riviste di magia furono le prime a pubblicare tali giochi, che ebbero però un'ampia diffusione solo dopo essere stati trattati su «Time» (24 giugno 1974, pagine 56-58). Il procedimento è quello di porre una domanda e poi fare eseguire una serie di calcoli che portano a un risultato che, una volta capovolto, fornisce le lettere della risposta.

Il primo di questi giochi di capovolgimento sembra riguardasse il vincitore di una certa scaramuccia tra arabi e israeliani. Dopo aver introdotto le informazioni rilevanti, si ottiene la risposta: 71077345. Capovolta dà SHELLOIL. Knuth formulò la storia in un modo matematicamente più interessante: 337 Arabi e 337 Israeliani combattono su una proprietà quadrata di 8424 metri di lato. Naturalmente sommiamo i quadrati di 337 e 8424. C'è un altro modo per ottenere 71077345 come somma di due quadrati? Sì, c'è un'altra strada: $5324^2 + 6537^2$. È stato pubblicato un libro dedicato a tali inversioni: *Calcu/Letter* di Dan Steinbrocker (Pyramid Pubblications, 1975).

Il mio contributo a questo futile passatempo è apparso solo in periodici di magia. Che cosa hanno in comune il Congress e le danzatrici del ventre? Si moltiplichi il numero primo 2417 per il numero dei mesi dell'anno, si divida per il numero delle lettere di «Congress», e poi si moltiplichi per il numero delle lettere di «George Washington». Si capovolga la macchina per leggere la risposta. Per avere un risultato di maggior precisione, si aggiunga 1,0950 e si sottragga 0,1776.

Uno dei problemi del mese scorso consisteva nell'indovinare il trucco usato dal dottor Matrix per far scomparire una coppa di vino collocata all'interno di un cilindro. La coppa era di ghiaccio ed era stata tenuta in uno stampo all'interno di un freezer fino al momento opportuno. Inoltre al centro del disco di metallo leggermente conico che formava il piano del tavolo vi era un piccolo buco in corrispondenza dell'unico sostegno centrale del tavolo. Il sostegno era cavo e quindi poteva raccogliere l'acqua e il vino dopo che il calice si era disciolto. Per accelerare lo scioglimento, il disco metallico conteneva delle resistenze in cui il dottor Matrix poteva immettere corrente elettrica premendo un pulsante sulla scrivania.

È facile dimostrare come la formula in due variabili del dottor Matrix, $(b + 1)/a$, generi una successione periodica con periodo 5. Supponiamo che a sia il primo numero della successione e b il secondo. Applicando ricorsivamente la formula, il terzo numero è $(b + 1)/a$, il quarto $(a + b + 1)/ab$, il quinto $(a + 1)/b$, il sesto a, e il settimo b. Sembra che la formula sia stata notata per la prima volta da R.C. Lynnes in un suo articolo sulla «Mathematical Gazette» (vol. 26, 1942, pagina 62).